

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО
„Акад. Георги Наджаков“



ГОДИШЕН ОТЧЕТ

2023 ГОДИНА

СОФИЯ



НАУЧНИТЕ ЗВЕНА НА ИФТТ-БАН

1. Направление „Теория“

1.1. „Теоретичен отдел“

Научноизследователските интереси на Направлението са свързани с квантовата теория на кондензираната материя и статистическата физика. По-конкретно, те обхващат изследвания в областите квантов магнетизъм, нелинейни явления и математическо моделиране на физическите процеси в кондензирани среди.

2. Направление „Функционални материали и наноструктури“

2.1. Лаборатория „Физика на материалите и ниските температури“

2.2. Лаборатория „Физични проблеми на микроелектрониката“

2.3. Лаборатория „Акустоелектроника“

Научноизследователските области на Направлението обхващат физика и технология на комплексни кристали, тънки диелектрични и проводящи слоеве и хетероструктури на тяхна основа, както и наноструктури на основата на въглеродни сажди: изследване на техните оптични, структурни, диелектрични, електрически, магнитни, ледофобни и антимикробни свойства; разработване на функционални структури и тяхното приложение в разнообразни микро-, нано-, опто-, акусто-електронни и сензорни устройства с множество приложения, както и в криобиологията и репродуктивната медицина

3. Направление „Нанофизика“

3.1. Лаборатория „Фотоелектрични и оптични явления в широкозонни полупроводници“

Научноизследователската дейност на Направлението е съсредоточена върху производството и характеризирането на наноструктурирани тънки покрития, съдържащи наноразмерни полупроводници – хомогенни и композитни слоеве и многослойни структури подходящи за електронни, оптоелектронни и сензорни приложения. Част от научноизследователските области на направлението са също изследванията на термично и фотоиндуцирани явления.

4. Направление „Физика на меката материя“

4.1. Лаборатория „Течни кристали и биомолекулни слоеве“

Научноизследователската дейност на Направлението по физика на меката материя е съсредоточена върху термотропните и лиотропни течни кристали, механичните характеристики на липдните мембрани, фотостимулираните ефекти при течните кристали, наноструктурирани течни кристали, електрични свойства на биологични и моделни мембрани и биофлексоелектричество.

5. Направление „Физическа оптика и оптични методи“

5.1. Лаборатория „Оптика и спектроскопия“

Научноизследователските интереси на Направлението се фокусират върху линейна и нелинейна оптика и спектроскопия, оптика и спектроскопия на термотропните течни



кристали и други анизотропни среди, интегрална оптика, холографски дифракционни решетки; фиброоптика, Раманова спектроскопия, тънкослойна оптика, многослойна оптика, теоретични методи в оптиката, както и спектроскопия и квантова оптика.

6. Направление „Лазерна физика и физика на атомите, молекулите и плазмата“

6.1. Лаборатория „Атомна спектроскопия“

6.2. Лаборатория „Лазери с метални пари“

Научноизследователските области на Направлението се концентрират върху изследване и разработване на нови лазерни източници и тяхното приложение, изследване на атомни константи и свойства на атомните спектри от астрофизичен интерес. Други изследвания касаят квантовата оптика, квантовооптични аналогии, лазерно охлаждане и манипулация на Rb атоми, процеси в ниско-температурната плазма от различни източници, в това число лазерно подпомагана плазма, аналитично приложение на лазерно-индуцирана спектроскопия при изследване на археологически обекти.

1. ПРОБЛЕМАТИКА НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО „АКАД. ГЕОРГИ НАДЖАКОВ“

1.1 Преглед на изпълнението на целите (стратегически и оперативни) на звеното, оценка и анализ на постигнатите резултати и на перспективите на звеното в съответствие с неговата мисия и приоритети съобразени с утвърдените научни тематики.

Институтът по физика на твърдото тяло „Акад. Георги Наджаков“ (ИФТТ) към БАН провежда фундаментални и научноприложни изследвания в модерни направления на физиката на кондензираната материя, физиката на атомите, плазмата и лазерите, физиката на течните кристали и на живата материя. Същевременно, научната дейност е мултидисциплинарна и свързана с редица основни научни области: химия, материалознание, биомедицина, авангардни инженерни науки и археология.

Изминалата 2023 година продължи с изследователския импулс на половин вековното научното наследство и с поглед към нови и неизследвани пространства в науката. ИФТТ, като институция с изградени научни традиции, продължава да развива своето изследователско ниво и да надгражда своя общественозначим принос, не само към българската, но и към европейската и световна наука.

Научните ни изследвания, проекти и иновативни идеи следват приоритетите, заложи в националните и европейски стратегии за развитието на научните изследвания: нанотехнологии и нови материали, информационни, комуникационни и биотехнологии, енергийна ефективност, здравеопазване, околна среда, качество на живот, опазване на културно и историческо наследство.

Основните научни тематики, които се развиват в ИФТТ-БАН са:

- Получаване на перспективни мултифункционални (полупроводникови, диелектрични, магнитни и свръхпроводими) материали и детайлно изследване на комплексната им физична природа с широк набор от електрични, оптически, магнитни, структурни, микроскопски и други методи.
- Физика и технология на тънки и наноразмерни неорганични диелектрични и полупроводникови слоеве, въглеродни наноструктури и нискоразмерни системи, биоматериали и наноструктурирани течни кристали и техни приложения в наноелектрониката, опто и акустоелектрониката, сензорни устройства, както и в криобиологията и репродуктивната медицина.
- Теоретично моделиране на физико-химически процеси, явления, свойства, състояния и фазови преходи в кондензирани среди, динамика на нелинейни системи. Квантови технологии.
- Лазери, атоми и плазма, приложения и технологии (нанотехнологии, лазерни технологии, археометрия, медицина, екология).
- Фотоника, оптика и спектроскопия на нелинейни и анизотропни среди.



1.2. Изпълнение на Националната стратегия за развитие на научните изследвания в Република България 2017-2030.

Научната дейност на Института през 2023 г. изцяло следва приоритетите на **Националната стратегия за развитие на научните изследвания в Република България** за периода 2017-2030 г. Фундаменталните и научноприложните резултати в приоритетните направления са представени обобщено в настоящата секция.

През изминалата 2023 г. в област „**Материалознание, нано и квантови технологии**“ изследванията са фокусирани върху изследване и практическо развитие на high-k диелектрични наноструктури, като енергонезависими и наноразмерни мемристивни устройства. Подготвен е тематичен обзор на физичните ефекти, деструктивното влияние, полезните въздействия и практически аспекти на контролираното радиационно облъчване на наноструктурирани оксидни материали и модификацията на техните свойства. Проведени са серии експерименти с нанослове от ZnO легиран с Al (третиран при различни условия) с перспективни електро-оптични свойства в потенциални приложения в течно-кристални дисплей устройства. Представена е алтернативна концепция за монокристален растеж на NbSe₂ чрез техниката на пренасяне на химически пари (CVT). Този материал се изследва в различни практически насоки, като пример са иновативни устройства за съхранение на информация.

Теоретично са моделирани множество комплексни магнитни системи, наноразмерни еднйонни молекулни магнити и биологични мембрани, които имат основополагащо значение в редица квантови и био-технологични области.

Разработена е нова подобрена лазерна система генератор–усилвател с високо качество и средна лазерна мощност на снопа. Изследвани са възможностите за прецизна микрообработка на повърхностната морфология на силициеви (Si) подложки. Проучени са перспективни подходи за фокусиране на лазерно лъчение с фемтосекундна продължителност на лазерните импулси за контрол на движението на неутрални частици (атоми, молекули и микрочастици), като ефектът е потвърден с отлагане на слой от магнезиеви атоми върху кварцова подложка в атмосфера от неон при ниско налягане.

Представена е иновативна стратегия (патентно предложение) за допълнителна корозионна защита на повърхността на бетонните конструкции чрез отлагане на свръххидрофобно въглеродно покритие (сажди от рапично масло) и са проведени различни тестове за неговата устойчивост.

„**Здраве и качество на живот. Превенция, ранна диагностика и терапия, зелени, сини и екотехнологии, биотехнологии**“. Детайлно са изследвани антибактериалните свойства на 2D PtSe₂ нанослоеви свързани с интензивна фотокаталитична активност в зависимост от дебелината на покритията. Теоретично и експериментално са проучени измененията в биофизичните свойства на еритроцити за определяне на терапевтичният потенциал на различни серумни антитела и пептиди с цитолитично действие. Проведени са иновативни анализи на биохимията на семинална плазма (ензимна активност и подвижност) под влиянието на силно хидрофобни наночастици от въглеродни сажди и възможности за регулиране на репродуктивния потенциал на мъжките гамети. Детайлно са проучени механичните свойства и физикохимични изменения в многосилови ортодонтички дъги в различни условия и етапи на лечението. Анализирани са широк спектър от свойства и приложения на уникални археални липиди мембрани синтезирани от археозомни организми. Те притежават висока физикохимична стабилност и могат да бъдат използвани за насочен пренос на разнообразни биомедицински и фармацевтични препарати.

Изследвани са ефектите на функционализирани хидрофобни златни наночастици върху структурните свойства на липидни мембрани с различни спектроскопски методи, също с потенциални приложения за лекарствен транспорт и антиракова терапия базирана на хипертермия.

Експериментално е изследван медицински клас PDMS еластомер чрез лазерно базиран метод за модификация в среда въздух чрез лазерно лъчение при различни дължини на вълната от фемтосекундна Ti: Sapphire лазерна система, при 35 fs. Изследвани са морфологичните и оптични свойства на PDMS еластомера. Докладваните констатации и наблюдения демонстрират обещаващи резултати по отношение на прилагането на такъв лазерно базиран метод за микро- или нано-обработка на оптично прозрачни биополимери за интерфейсни устройства в биоинженерните технологии, като невронни импланти и интерфейсни приложения.

В насоките на приоритетното направление **„Национална идентичност и развитие. Социално-икономическо развитие“** са проведени систематични спектроскопски проучвания на многобройни археологически артефакти: сечива, керамични фрагменти и пигментация от исторически обекти от национално значение: селищата Балей, Бухово и Гълъбник, Маджерито, Калояновец и Хаджидимитрово.

В областта на **„Съвременните енергийни източници и технологии“** са обстойно проучени електрохимичните свойства на нанокмпозитна полимерна система (PEO/PVP/NaIO₄/TiO₂) в контекста на възможни приложения устройства за съхранение (преобразуване) на енергия, сензорика, гъвкава електроника и мехатроника.

Изследван е теоретично и експериментално процеса на филаментация на мощен свръх-къс (35 fs) лазерен импулс. Предложен е нов физичен модел, обясняващ коничната емисия и плазмената неустойчивост чрез ударна йонизация между захванатите частици в оптичния импулс и свободните такива. Новият тип ударна йонизация води до захващане на ансамбъла от неутрални въздушни частици в импулсната обвивка и техните трансляции с груповата скорост на импулса. Новият подход предлага възможност за нови стратегии за манипулиране на частици и предпоставка за разработването на иновативни приложения в областта нови енергийни източници, като лазерен термоядрен синтез и охлаждането на неутрални атоми и молекули.

Някои от основните научноприложни дейности в ИФТТ са в областта на сензориката и са посветени на приоритетното направление **„Мехатроника и чисти технологии“**. В тази тема е предложен иновативен подход за синтезиране на двуслойни коаксиални кухи нановлакна от Al₂O₃/ZnO чрез комбиниране на методите на електроовлажняване и атомно послойно отлагане (ALD). Голямата каталитична активност и функционална повърхност на получените нанонишки ги прави особено подходящи за газови сензори.

Значителната част от научната дейност на ИФТТ е мултидисциплинарна и има пряко отношение и полезни резултати в приоритетна теми **„Информационни и комуникационни технологии“**. В тази област е предложена нова концепция на Spin-VCSEL - полупроводников лазер с вертикален резонатор и излъчване от повърхността с вграден нематичен течен кристал във втори резонатор. Тези оптични системи се използват в цифровите центрове за данни. Направен е систематичен обзор на приложимостта на методите за числено моделиране базирани на невронни мрежи в анализ на базови концепции в тънкослойната оптика

Дейностите посветени на **„Пречистващи и безотпадни технологии“** включват оптимизиране на ефективността на механически устойчиви хидрофобни въглеродни



покрития (сажди) за възпрепятстване на бактериалната пролиферация в „реални“ условия в открит воден басейн. Разработени са иновативни сензори за детектиране на метанол в алкохолни напитки с оптимизирани параметри за висока ефективност и чувствителност.



1.3. Полза / ефект за обществото от извършваните дейности.

Служителите на ИФТТ оказват експертна и техническа помощ на български компании и в съвместната научна дейност с други научни организации. В това отношение, научната инфраструктура и експертното ниво на учените предоставят големи възможности за технологично развитие.

През изминалата година ИФТТ продължи да развива своята научна дейност в партньорство с различни институции: Софийски университет „Св. Климент Охридски“ (СУ), Технически университет – София (ТУ), Институт по електроника (ИЕ), Институт по оптични материали и технологии (ИОМТ), Институт по биофизика и биомедицинско инженерство (ИБФБИ), Институт по Механика (ИМ), Институт по ядрени изследвания и ядрена енергия (ИЯИЯЕ), Институт по обща и неорганична химия (ИОНХ), Медицински университет - София, Химико-технологичен и металургичен университет (ХТМУ), Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ), Югозападен университет „Неофит Рилски“, Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“ (ПУ), Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“. Изграденото тясно сътрудничество между Института и други академични организации са ползотворни за научната общност в България.

Разработените в ИФТТ лазерни и спектроскопски методи за анализ на химичен състав и археометрия (датиране) са особено важни за проучванията на исторически обекти от национално значение и за откриването, изучаването и опазването на археологични артефакти.

Продължава съвместната развойна дейност за разширяване на практическите приложения на хидрофобни въглеродни покрития в областта на репродуктивното здраве и биомедицината между лаб. Акустоелектроника, медицински център „Неовитро“ и клиника „Малинов“.

Широките възможности на оборудването за спектрофотометрично охарактеризиране подпомага иновационното развитие на редица фирми за оптични и опто-електронни елементи. В тази връзка продължават съвместните иновационни проекти за научно-техническо сътрудничество с фирми, чиято индустриална дейност е в областта на лазерните технологии, оптичните елементи и опто-електрониката: Аква Лид ЕООД, Оптикс АД, Оптеко и партньорс ООД, Технооптикс ООД и др.

ИФТТ активно участва в различни инициативи за популяризиране на науката сред ученици, студенти и специализанти. Създават се специални образователни материали на най-съвременно и достъпно ниво за насочване на интереса им към науката. През септември 2023 г. Институтът се включи в инициативата „Европейска нощ на учените“ и презентира на силно заинтересованата публика от всички възрасти атрактивни експериментални демонстрации. Участие взеха ас. Дамян Делибалтов, доц. д-р Благой Благоев, гл. ас. д-р Мирослав Георгиев и гл. ас. д-р Алберт Варонов. Постерни презентации представиха младите ни колеги: биолог Велизар Георгиев, физик Огнян Петков и ас. Тодор Влахов. Доц. д-р Георги Янков и доц. д-р Екатерина Йорданова също представиха свои научни разработки. В подготовката на участието подкрепа оказаха проф. д-р Хасан Шамати, доц. д-р Ангелина Стоянова-Иванова, проф. д-р Виктория Виткова и проф. д-р Йордан Маринов.

1.4. Взаимоотношения с други институции

През 2023 г. учени от ИФТТ взеха участие в различни колективни органи и комисии на национално ниво. Кадри на института са част от научно-експертни комисии по природни науки към Фонд „Научни изследвания“, Българска Търговско Промислена Палата (БТПП), Агенция за Ядрено Регулиране (АЯР) и др. Специалисти от ИФТТ са участвали като членове в Научни журита по конкурси за присъждане на

научни степени и звания, като са изготвени десет (10) становища и четири (4) рецензии. Изготвени са експертни оценки (7 броя) на проектни предложения, междинни и окончателни отчети в различните конкурсни сесии на Национален фонд „Научни изследвания“.

1.5. Общонационални и оперативни дейности, обслужващи държавата.

През изминалата 2023 приключи изграждането на сградата и съответната мащабна изследователска инфраструктура в рамките на Национален Център за върхови постижения „**Мехатроника и чисти технологии**“.

Оборудването включва тестова система за газови сензори Kenosistec KGAS4S C за провеждане на прецизни и високочувствителни изследвания на електричните характеристики на наноструктурирани сензорни устройства в зависимост от широк набор от параметри – концентрация, налягане, влажност, температура и за детекция на токсични газове (CO_2 , NO_2 и NH_3) с цел симулиране на реални атмосферни условия.

В Института вече е изградена чиста стая - висок клас (10 000) лабораторно помещение със специализирана научна инфраструктура за получаване на иновативни наноматериали. ИФТТ поддържа установка Beneq TFS 200 за атомно послойно отлагане (ALD) на оксидни тънки слоеве и апаратура Oxford Nanofab Plasmalab System 100 за плазмено стимулирано химическо отлагане (PE CVD) за синтез на 1D (нанотръби) и 2D (графен) размерни въглеродни материали. С помощта на оборудването в ИФТТ се генерират високи научни резултати, чието ниво се надгражда всяка година и се реализират иновативни идеи.

В Института работи технологична линия и измерителна апаратура за разработване и изследване/тестване на масочувствителни кварцови резонатори (QCM) за сензорно приложение в широк спектър от приложения (например газови и термометрични). Най-новото развитие на тази методология е в контекста на репродуктивната медицина. Разработена е цялостна технологична система за анализ (базирана на QCM с интегрирани въглеродни покрития) и софтуерна обработка на данни за детайлна диагностика на мъжките гамети.

ИФТТ поддържа технологична линия за рутинни микроелектронни операции и изготвяне на структури, сензори и устройства на основата на силициева тънкослойна технология, както и с модерно свръхчувствително оборудване за изследване на техните, електрични и сензорни характеристики. Технологичната база осигурява необходимите условия за високотехнологични експерименти, разполага със съвременна апаратура за извършване на широк спектър от електрически измервания и разширява перспективите за партньорство с индустрията.

ИФТТ разполага с мултифункционална лабораторна филтрираща система (MaxiMem, Prozesstechnik GmbH). Апаратурата предоставя разнообразни възможности за приложение като екстракция на субстанции за фармацевтиката, мембранна филтрация, пречистване и рециклиране.

Към наличните лазери, регистрираща и спектрална апаратура и разработена технология за диагностика, консервация и реставрация на паметници на културата, е изградена фемтосекундна лазерна система, състояща се от 4 модула, която се използва за наблюдение на свръхбързи процеси и динамични измервания, за изучаване на живи структури и модификации на материали в наноразмерната скала.

В ИФТТ функционира високовакуумна система за оптични покрития Symphony 9 (Tesport Optics, САЩ), с възможности за създаване на многослойни оптични структури на съвременен технологичен ниво. Интерес към възможностите на системата проявяват малки и средни предприятия, работещи в областта на оптичното приборостроене, с

някои от които Института има сключени рамкови договори.

Широка гама от тънкослойни покрития могат да се охарактеризират оптично с единствения по рода си в България автоматичен елипсометър тип M2000D, който позволява анализиране на проби с дебелина под 1 nm. Наличието на спектрофотометър Perkin Elmer- Lambda 1050, окомплектован с инфрачервен спектрофотометър с Фурие преобразование Vertex 70 и модул „150 mm интегрираща сфера“, позволява да се измерват и контролират спектралните характеристики на различни материали в твърдо или течно състояние.

С автоматизирана микрофлуидна система CellASIC™ ONIX, ръчен цитометър Scepter 2.0 и филтриращата мембранна установка са създадени условия за провеждане на експерименти върху взаимодействието на меката материя с наноструктури от различен вид и състав, а комбинираната система от галваностат и потенциостат SP-200 позволява да се извършват изследвания в областта на фундаменталната електрохимия, нано- и биотехнологиите, електролизата и електросинтеза, горивните клетки, фотоволтаиците и др.

По отношение на опазване на културното и историческо наследство, в ИФТТ се поддържа постоянна музейна експозиция на името на патрона на института акад. Георги Наджаков, в която се съхраняват и популяризират материали и извори за историята на физическите науки като част от Исторически обекти на Европейското физическо дружество. През 2023 г. колекцията и уебсайта на Музея е разширена с множество биографични материали за известни учени физици.

1.5.2. Проекти, свързани с общонационални и оперативни дейности, обслужващи държавата и обществото, финансирани от национални институции.

Най-значим проект, финансиран от национални институции и индустрия

Проектът BG05M2OP001-1.001-0008 „Национален център по мехатроника и чисти технологии“, се осъществява по процедура „Изграждане и развитие на центрове за върхови постижения“, която има за цел да подпомогне повишаването на нивото и пазарната ориентация на научноизследователските дейности на водещите научни организации в България, както и да подобри капацитета за реализиране на върхови постижения в областта на научните изследвания. Той е финансиран от ОП „Наука и образование за интелигентен растеж“ и съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейския фонд за регионално развитие. Неговото реализиране се осъществява на основата на три стълба: БАН с участието на 12 научни звена, Техническите университети в България и Химикотехнологичният и металургичен университет и Софийският университет „Св. Кл. Охридски“ с представители Физически факултет и Факултет по химия и фармация.

Основната цел на проекта е *изграждане и развитие на съвременна научноизследователска инфраструктура, която да допринесе за реализирането на програмата за устойчив и интелигентен икономически растеж на Република България*. Средствата за нейното реализиране са от една страна мобилизиране на най-добрите български научни колективи в дадената тематичната област, като изследванията им са ориентирани към решаване на проблеми на индустрията, тъй като центърът има по-практическа насоченост, а от друга ефективното комбиниране на човешки и материални ресурси, опит и управленски методи.

Основните дейности, свързани с изграждането, ефективното функциониране и развитие на центъра за върхови постижения включват на първо място изграждане на специфична инфраструктура, чрез създаването на три изследователски комплекса,



снабдени с уникална за страната апаратура, които имат допълващи се задачи в научноизследователския план. Това са кампусите, разположени съответно на територията на 4-ти километър – кампус „Гео Милев“, чиято дейност обхваща областите мехатроника и чисти технологии, на Софийския университет - кампус „Лозенец“ с насоченост главно в областта на чистите технологии, и при Техническия университет - кампус „Студентски град“ със специализация в областта на мехатрониката. Новият тип инфраструктура позволява провеждане на задълбочени изследвания в областта на мехатрониката и чистите технологии и спомага за сформирание на конкурентноспособни и интердисциплинарни научноизследователски колективи, които са способни да участват успешно в други програми и конкурси.

Втората основна дейност на центъра включва изпълнението на дългосрочния научен план, което трябва да осигури значими фундаментални резултати и комплексно решаване на индустриални проблеми, особено в бъдеще.

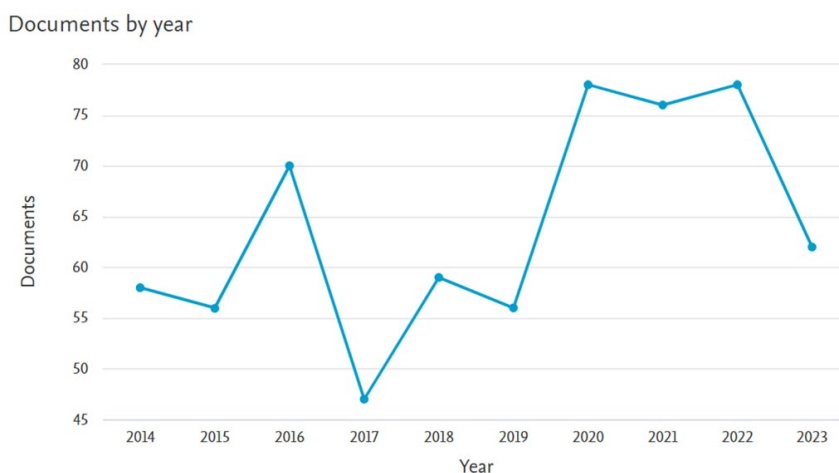
Проектът „Национален център по мехатроника и чисти технологии“ позволи надграждането на вече модернизирания научна инфраструктура на Института по физика на твърдото тяло (ИФТТ с помощта на 2 проекта по 7-ма рамкова програма на ЕС след тяхното приключване. В ИФТТ, намиращ се на територията на Научен комплекс на БАН, е изградена нова лаборатория, която разполага с единствената на Балканите тестова система за газови сензори, симулираща околната среда в малък обем. В сътрудничество с ТУ София е закупена технологична лазерна система за прецизна обработка на материали и с помощта на конфокален микроскоп от последно поколение, доставен отново по проекта, се извършва тяхното охарактеризиране, като се получава 2D и 3D информация за пробата. ИФТТ участва съвместно с институти на БАН партньори по проекта в закупуването на: Раманов спектрометър с микроскоп и температурна приставка; Диференциално сканиращ калориметър; Високовакуумна система включваща три магнетрона за отлагане на микро- и наноразмерни филми. В резултат на изпълнението на проекта само през изминалата година са публикувани 10 статии в реномирани международни списания.

2. РЕЗУЛТАТИ ОТ НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКАТА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2023 Г.

Научните резултати на учените от ИФТТ през 2023 г. обхващат 102 научни публикации. Сред тях може да отбележим текстове в престижни международни издания с висок импакт фактор като Chaos, Solitons and Fractals (IF: 7.7), Applied Surface Science (IF: 7.3), Progress in Organic Coatings (IF: 6.6). Наукометричните данни са систематизирани в табличен вид както следва:

Разпределение на научните трудове по данни от системата SONIX	2022	2023
Общ брой на публикуваните научни статии	112	101
Публикации в базите данни за научна информация WoS и SCOPUS	93	87
Q1 (Q1 - оглавяващи ранглистата в интердисциплинарни области)	30	30(3)
Q2	23	25
Q3	13	8
Q4	8	2
Глави от книги	2	1
Статии само с импакт-ранг	15	20
Индексирани в WoS и SCOPUS (Без JCR или SJR)	4	0
Цитати в WoS или Scopus	1644	1909
Рецензиране на статии	42	78

На следващата графика е показана хронологията на публикационната активност на учените от ИФТТ в специализирани журналы през последните 10 години от база данни на SCOPUS.



Хронология на общия брой публикации на учените от ИФТТ по базата данни за научна информация SCOPUS.

2. РЕЗУЛТАТИ ОТ НАУЧНОИЗСЛЕДОВАТЕЛСКАТА ДЕЙНОСТ ПРЕЗ 2023 г.

Направление „ТЕОРИЯ“

Определени са фазовите диаграми на изотропни спинов системи, дефинирани върху ленти със структура на решетка КагOME. Тези системи могат да бъдат разглеждани като квазиедномерни изрезки от КагOME тип и като такива представляват значителен теоретичен интерес при изследване на комплицираната структура на нисколежащите състояния в модела на Хайзенберг, дефиниран върху решетка КагOME. Нещо повече, в последните години бяха синтезирани няколко квазиедномерни системи със структура на основата на решетка от тип КагOME, така че изследванията на квазиедномерни аналози на двумерния модел представляват и самостоятелен интерес.

Изследвана е квантовата фазова диаграма на Хайзенбергова кагOME-лента с два типа спинов променливи ($S_1 < S_2$), като с J_1 и J_2 са обозначени съответно обменните константи между съседни S_1 - S_2 и S_2 - S_2 спинов променливи. Като отправна точка при анализа е използвана класическата фазова диаграма на модела, получена в предходни наши изследвания. Анализът се базира на точни аналитични резултати за клъстери от няколко квантови спина, както и на числени симулации по метода на Ланчос (ED) и на числения ренормгрупов подход (DMRG). Акцентът на изследванията е върху екстремно квантовия случай $S_1 = 1$, $S_2 = 1/2$. Получените резултати могат да бъдат формулирани както следва:

1. При $J_2 > 0$, квантовата фазова диаграма на модела съдържа две различни фази на Холдейн с ефективни решетъчни спинов квантови числа $S_1 + 4S_2$ и $S_1 - 4S_2$; фаза на Холдейн около $J_1 = 0$ с решетъчен спин 1; две различни фази на квантова спинова течност между първите две фази и спин-1 фазата на Холдейн.
2. $J_1 = 0$ е изолирана критична точка, описваща система от невзаимодействащи S_1 спинов променливи и две независими спин- $1/2$ верижки на Хайзенберг.

Проведено е изследване на класическата фазова диаграма на модел на Хайзенберг, дефиниран на уплътнена хексагонална решетка. Системата представлява изотропен спин- $1/2$ (J_1 - J_2) модел на Хайзенберг, дефиниран върху хексагонална решетка, която допълнително е уплътнена със $S = 1$ спинов променливи, разположени в центъра на хексагоните и изотропно взаимодействащи (J_2) с близките спин- $1/2$ решетъчни спинове.

Построена е класическата фазова диаграма на модела като функция на параметъра t [$J_2 = \sin t$, $J_1 = \cos t$], която съдържа две колинеарни магнитни фази (феро- и феримагнитна), а също така една скосена (canted) спинова фаза в интервала $-\pi/4 < t < \pi/4$. В ход е теоретично пресмятане на квантовата фазова диаграма в параметричното пространство.

Използването на обучение без наличие на учител, т.нар. unsupervised learning беше наскоро въведено при изследване на различните фази и фазови преходи в класическите и квантовите системи. В случая на класическия модел на Изинг, анализът на основните компоненти (PCA) беше приложен за извличане на съществени нискоразмерни представяния от оригинални данни. Подобни изследвания са допълнени с използване на кластерен анализ за идентифициране на отделни фази. Интерес представляват т.нар. ограничени Болцманови машини (Restricted Boltzmann Machines), които могат да бъдат обучени да идентифицират параметъра на подреждане при фазови преходи.

Използван е квантов анзац в рамките на ограничена Болцманова машина с цел изследване на процеси в системи от типа квантови спинов стъкла в адиабатно приближение. Разглеждани са проблемите на обучение, опитвайки да се опише основното състояние на квантов модел на Изинг от типа спиново стъкло в напречно поле. Получено е основното състояние на системата, използвайки точна диагонализация и намирайки оптималната ограничена машина на Болцман. Получените резултати показват, че за някои

топологии на машина на Болцман, параметрите на системата са трудни за намиране.

Еднойонните молекулни магнити, базирани на преходни метали, са сред най-широко разпространените и доказали се във времето със своята структурна устойчивост наноманитни системи. Те притежават уникални полуквантови магнитни свойства, с което се нареждат сред водещите твърдотелни образци за тестване и дизайн на бъдещи технологии, работещи на границата между класическата и квантовата физика. Металните комплекси, базирани на преходни метали и притежаващи голяма енергетична бариера за обръщане на намагнетеността им, висока блокираща температура и дълго време на релаксация на намагнетеността, са сред най-търсените еднойонни наноманити.

Фокусирани върху $3d^n$ еднойонни магнити, притежаващи значителна микроскопична магнитна анизотропия и нетривиална фина структура в отсъствието на външно магнитно поле, през текущата година са изследвани два еднойонни наноманита, базирани на преходни метали.

Извършен е цялостен анализ на магнитните свойства в основно състояние на октаедричния спин-единица ванадиев комплекс $\text{mer-[V(dddpd)}_2\text{]}^{3+}$. Проведеното проучване изясни с големи детайли микроскопичните механизми, обуславящи появата на фина структура към основното състояние от енергетичния спектър на изследваното съединение и свързаната с него магнитна анизотропия. Детайлно са обсъдени приносите на кристалното поле и спин-орбиталните взаимодействия към формирането на фината структура. Теоретично са възпроизведени наличните в литературата магнитометрични данни. Това позволи да се симулира числено присъщата за това съединение енергетична бариера, която управлява динамиката на намагнетеността.

Проучен е и особен случай на еднойонен наноманит, базиран на никел, чийто свойства трудно се обясняват от установената парадигма, използвана за обяснение на магнитното поведение на $3d^8$ базирани наноманити. По-точно, изследвано е необичайното магнитно поведение на съединението $[\text{Ni(MDABCO)}_2\text{Cl}_3]\text{ClO}_4$, в което магнитните спин-единица Ni^{2+} центрове са координирани от лигандно поле с тригонална двойно пирамидална нарушена симетрия. Това съединение проявява привидно огромно разцепване на енергетичните нива от фината структура на енергетичния спектър в условията на нулево външно магнитно поле. Съответно проявява и привидно голяма магнитна анизотропия. Тези обстоятелства поставят изследователите в областта в положение на огромна нужда от автентично тълкуване на неговото магнитно поведение. За тази цел са проведени задълбочени квантово-механични изчисления, надграждащи конвенционалната схема на ефективна параметризация, която по дефиниция описва орбиталните състояния на $3d$ електроните в отсъствието на фазови орбитални връзки между тях. Приложени са квантово-механични ограничения, намаляващи степените на свобода на електроните, с което са разкрити основните механизми, управляващи необичайното магнитно поведение на изследваното съединение. Числено са възпроизведени наличните в литературата експериментални резултати за магнитната възприемчивост при ниско поле, намагнетеността и спектърът от електрон парамагнитна спектроскопия.

Магнитните свойства на гореспоменатите наноманити са изследвани с помощта на математическа рамка, базирана на стандартната квантова механика и статистика. Използвани са адиабатното приближение в нерелативистичния случай. Ефективният енергетичен спектър на всяко от съединенията е изчислен с помощта на метода на точната диагонализация.

С помощта на софтуерния пакет LAMMPS за изследване на свойствата на материалите е извършено компютърно моделиране на процеса на взаимната термализация на спиновата и решетъчната подсистеми в обемноцентрирана Fe решетка при $T = 300$ K. Хамилтонианът на системата включва механичен потенциал и обменно магнитно

взаимодействие. Диагонализацията на тази матрица дава спектъра на фононите на Fe в трите основни кристални направления [100], [110] и [111]. Наблюдава се много добро съгласие между изчисления и експериментално определения закон на дисперсия на фононите. То се отнася към всички кристалографски направления и малки до средни значения на вълновото число. Разликата между изчисленията на дисперсионната крива за фононите и експерименталните данни, наблюдавана в края на зоните, се дължи на анхармоничните ефекти. Наблюдавано е изразено влияние от магните върху фононния спектър в желязото.

Силовото поле Slipids (Stockholm lipids) е подходящо за описание на физичните свойства на биологични мембрани, съставени от фосфолипиди при стайна температура. Досега неговата точност да възпроизвежда поведението на термодинамичните и структурните величини на мембраните при ниски температури все още не е тествана достатъчно подробно. В настоящото изследване са изчислени някои характерни величини на двоен слой от SOPC (1-stearoyl-2-oleoyl-sn-glycero-3-phosphocholine) с помощта на отворения пакет за молекулна динамика GROMACS в съчетание със силовото поле Slipids. Първоначалната конфигурация на системата SOPC, съставена от 128 липидни молекули, разпределени равномерно във всеки монослой и 5120 водни молекули, беше генерирана с помощта на CHARMM-GUI. Атомните молекулно-динамични (MD) симулации бяха извършени при няколко температури. По силата на статистически анализ на траекториите, са изчислени основните структурни параметри на липидните молекули и термодинамичните величини, характеризиращи фазовото поведение на двуслоя. Резултатите са сравнени с наличните в литературата експериментални данни, както и с теоретични прогнози. Установено е, че силовото поле на плъзгането описва доста добре структурното поведение на липидите при ниски температури.

Изследвано е поведението на липидните двойни слоеве, съставени от SOPC с различни концентрации на холестерол, вариращи от 10 mol% до 50 mol% при 273 K. За тази цел са извършвани обширни атомистични молекулярно-динамични симулации с помощта на силовото поле на Slipid за изчисляване на основни параметри на двуслойни мембрани, както и на термодинамични им свойства и структурните характеристиките. Получените резултати са сравнени с наличните релевантни експериментални данни и резултати от атомистични симулации, извършени върху двойни слоеве, съставени от аналогични фосфолипиди. Получените резултати показват добро количествено и качествено съответствие с основните тенденции, свързани с повишаването на концентрацията на холестерола. Освен това се показва, че промяната в поведението на двойния слой се получава при концентрация от около 30 mol% холестерол. Установено е, че при тази концентрация някои от свойствата на двойния слой са наситени и се проявява значително подреждане на далечни разстояния на липидните молекули в мембраната.

Напоследък вниманието е насочено към въпроса за зависимостта на силите, предизвикани от флуктуация с различни ансамбли. Като забележителен пример, в $O(n)$ системите може да се покаже, че статистическата механика, лежаща в основата на такъв магнитен каноничен ансамбъл от тези сили, се различава в постоянния в големия каноничен ансамбъл. Тук противоположността на широко изследваната постоянна сила на Казимир в големия каноничен ансамбъл е силата на Хелмхолц в каноничния му аналог. Като се има предвид разликата между двата ансамбъла за крайни системи, разумно е да се очаква, че тези сили ще имат като цяло различно поведение за една и съща геометрия и гранични условия. Проведеното изследване представя някои точни резултати както за силата на Казимир, така и за силата на Хелмхолц в случая на едномерния модел на Изинг, прилагаме периодични и антипериодични гранични условия, като е сравнено тяхното поведение. Взет е предвид фактът, че моделът на Изинг наскоро беше решен във Phys.Rev. E 106, 042103 (2022), използвайки комбинаторен подход, за случая на фиксирана

стойност на неговия параметър на подреждане. Получен е точен резултат за функцията на разпределение на едномерния модел на Изинг на N спина и фиксирана стойност на намагнетеността, използвайки метода на трансферната матрица (по-ранните резултати са ограничени до $M = 0$ и N нечетно). Като допълнение са изчислени няколко специфични интегрални представяния на хипергеометричната функция на Гаус. Използвайки тези резултати, е показано, че свободните енергии в каноничния ансамбъл и нейния аналог в големия каноничен ансамбъл са свързани помежду си чрез трансформация на Лежандр в термодинамичната граница и са установени водещите корекции с краен размер за каноничния случай, които се оказват много по-ясно изразени от съответните в случая на големия каноничен ансамбъл.

Изследвана е солитонната динамика в система от две феромагнитни анизотропни верижки, които си взаимодействат както чрез срещуположните спинове, така и чрез спиновете по диагонал. Срещуположното и диагоналното взаимодействие между верижките на Хайзенберг може да бъде феромагнитно или антиферомагнитно, съответно за отрицателни или положителни стойности на константите на свързване.

Получена е система от свързани нелинейни уравнение на Шрьодингер за амплитудата на солитонните възбуждения, в която и двете константи - на срещуположното и диагоналното взаимодействие оказват влияние върху линейните и нелинейни членове на системата, но само диагоналното взаимодействие има принос към членовете пропорционални на първата и втората производна по x , т.е. параметрите на солитона – скорост и амплитуда зависят от диагоналното взаимодействие.

Определено е условието първоначално формиранят само в едната верижка статичен солитон тип камбана периодично да преминава от едната верижка в другата и обратно. Наблюдавана е стабилна периодична солитонна динамика независимо от знака на двете константи на взаимодействие между верижките, когато техните стойности са много по-малки от тези на еднородната анизотропия и на обменното взаимодействие. За достатъчно големи стойности на свързващите константи, солитонният трансфер е по-стабилен при феромагнитно взаимодействие между верижките и стойности на диагоналното свързване по-малки от стойностите на обменното взаимодействие.

Направление „ФУНКЦИОНАЛНИ МАТЕРИАЛИ И НАНОСТРУКТУРИ“

Представена е алтернативна концепция за растеж на кристали NbSe_2 чрез техниката на пренасяне на химически пари (CVT), използваща бром като агент за пренасяне на парите и впоследствие синтезираните кристали са анализирани чрез рентгенова дифракция (XRD), Раман спектроскопия и рентгенова фотоелектронна спектроскопия (XPS). Рентгеновият дифракционен анализ разкри хексагонални 2H-NbSe_2 и 4H-NbSe_2 фази и бяха получени характерни Раман и XPS спектри, типични за кристален NbSe_2 .

Изследвано е влиянието на третиране с UV лъчи и озон и термично отгряване върху оптичните и електрични свойства на ZnO легирани с Al (AZO) тънки филми, получени чрез технология за последователно отлагане на атомни слоеве (ALD). Установено е, че свойствата на AZO филмите могат да бъдат регулирани, особено след UV- и озонно третиране, което е лесен и неразрушителен метод за намаляване на стойностите на съпротивлението, като в същото време не предизвиква значителни промени в поликристалната структура, морфологията на повърхността и оптичните свойства.

ALD отложените AZO нанослоеви се отличават с висока прозрачност и отлична проводимост, също така са силно хидрофобни и притежават много ниска свободна повърхностна енергия. Тези уникални свойства ги правят изключително подходящи за интегриране в точно-кристални дисплей устройства, където се явяват отличен заместител

на широко разпространените ITO контакти. За първи път (доколкото ни е известно), е демонстрирана мултифункционална роля на AZO слой, освен като прозрачен, проводим електрод, и като подравняващ слой за вертикална ориентация на течно-кристалните молекули. По този начин отпада необходимостта от нанасяне на допълнителен подравняващ слой, което прави синтеза на тези структури лесен и икономичен.

Успешно са синтезирани нанослоеви от PtSe_2 върху стъкло използвайки метод за термично асистирано преобразуване (ТАС) при атмосферно налягане. Наличието на PtSe_2 е потвърдено чрез рентгенова и Раманова спектроскопия. Изследвани са фотокаталитичните свойства на PtSe_2 за приложение като антибактериални покрития. Установена е антибактериална активност на PtSe_2 покрития върху стъклени подложки срещу *Escherichia coli* при условия на тъмно и светло облъчване. Антибактериалната активност на PtSe_2 покритията е изследвана чрез прилагане на стандартна ISO процедура за полупроводникови фотокаталитични материали: (i) на тъмно, антибактериалната активност се увеличава с увеличаването на времето за отлагане на Pt и жизнеспособността на бактериите е намалена до 30% (Pt 3s) и 15% (Pt 10s) след третиране в продължение на 6 часа. Ефектът се приписва на нарастващата дебелина на филма, грапавост на повърхностно покритие, което улеснява механичното унищожаване на бактериалната клетка; (ii) при светлинно облъчване активността на PtSe_2 (Pt 3s) е подобна на тази на тъмно, показваща ниска чувствителност към светлина. PtSe_2 (Pt 8s) и (Pt 10s) изглеждат много ефективни при светлина, като жизнеспособността на бактериите след 6 часа е съответно само 7.3% и 1.2%. Наблюдаваната фотоиндуцирана антибактериална активност е свързана със синергията на няколко параметъра, т.е. висока кристалност, полупроводниково поведение и химичен състав.

Предложен е нов подход за получаване на двуслойни коаксиални кухи влакна чрез комбиниране на методите на електроовлажняване и атомно послойно отлагане (ALD). Първоначално се синтезират влакна от поливинил алкохол (PVA) чрез електроовлажняване и впоследствие се покриват с тънък слой от Al_2O_3 (ALO) чрез ниско-температурно ALD. За изгаряне на PVA сърцевината влакнестите структури се подлагат на високотемпературно отгряване. Тази процедура ни позволява да получим ZnO слоеве с добра кристалност и стехиометрия. Различни методи за характеризиране - SEM, елипсометрия, XRD и XPS – са проведени на всяка стъпка, за да се изследват процесите в детайли. След оптимизация и разработване на технологичния режим успешно бяха получени субмикронни ZnO (170nm)/ALO(23nm) кухи влакна с диаметър на вътрешната кухина 512 nm върху стъклени подложки.

Изследвани са магнитооптични (МО) ефекти на Кер за ZnO и ZnO:Ni -легиран наноламинатни структури получени с ALD. Химическият състав и съответните структурни и морфологични свойства бяха изучени с помощта на XRD и XPS и сравнени и за двете наноструктури. Двупараметрични градиентни карти на микромащабните вариации на поляризационната ротация на ъгъла на Кер са получени с помощта на МО Керг микроскопия. Получените данни разкриват сложно поведение и широка статистическа дисперсия и показват ясно изразени качествени и количествени разлики между нелегираните ZnO и ZnO:Ni -легиран наноламинати. Откритият магнитооптичен отклик е изключително нехомогенен в ZnO:Ni филмите и беше установен гигантски поляризационен ротационен ъгъл на Кер, достигащ до $\sim 2^\circ$.

Измерени бяха Раманови спектри на структури от монокристален 4H-SiC с буферен слой върху него, израстнат така, че да има минимално количество графен върху него. Чрез сравнение на тези спектри със спектри от чист референтен 4H-SiC беше екстрахиран Рамановият сигнал на буферния слой в интересната за съпоставяне с графена област на стречинг-трептенията. Този Раманов сигнал беше сравнен с теоретични симулации на фононната плътност на състоянията на моделна структура, състояща се от четири атомни

слоя 4H-SiC с буферен слой върху тях и така бяха идентифицирани отличителните Раманови спектрални ивици на буферния слой. Беше установено, че те са отместени към по-ниски честоти в сравнение със съответните им стречинг-трептения (G-ивицата) при графена.

Наноккомпозит, изграден от димерния течен кристал 7OBA и графенов оксид (GO), демонстриращ каскада от фазови преходи, вкл. фази, нетипични за чистия 7OBA, беше изследван чрез поляризационен микротекстурен анализ и Раманова спектроскопия. Използвахме наноккомпозита 7OBA/GO поради ефективните функционализиращи свойства на GO за изследване на генерирането и развитието на фероелектрична смектична триклинна фаза C_G в нейната двунаклонена конфигурация. За появата на триклинната фаза C_G с нейните подструктури предлагаме обяснение, базирано на образуване на водородна връзка между течнокристалните (LC) димери в затворени и отворени конформации и GO равнините, подпомогнати от π - π взаимодействието с графеновите шестоъгълници, които са свободни от функционални групи. Установено е, че електрооптичното поведение на индуцираните две подструктури на двунаклонената фероелектрична C_G фаза в 7OBA/GO до голяма степен зависи и може да се контролира чрез водородните връзки между димерната LC матрица и хидроксилните (карбоксилни) групи на графеновия оксид. Такава електрооптична реакция на наноккомпозита 7OBA/GO позволява ефективна настройка на LC системата със значение за съвременната микро и нанофотоника.

Синтезиран е наноккомпозит от фероелектричния и оптично активен термотропен течен кристал ((R,E)-4-(4-((3,7-диметилоктил)окси)стирил)фенил 4-(ундецилокси)бензоат и едностенни въглеродни нанотръби. Изследвана е зависимостта от концентрацията на дисперсията на нанотръбите и е установена висока степен на дисперсия в диапазона концентрации от 0.01 до 10 тегл. %. Тези изводи се подкрепени от изследвания с диференциална сканираща калориметрия, поляризирана оптична микроскопия и Раманова спектроскопия.

Техниката за измерване на променливотоковата магнитна възприемчивост дава детайлна представа за сложните електродинамични явления в свръхпроводниците. В представяното изследване са очертани ключовите ефекти, свързани с температурата, амплитудата на променливотоковото поле и честотните вариации на основните и хармоничните компоненти за изследване на динамиката на вихрите в кристала FeSe. Изследвана е нелинейната променливотокова магнитна възприемчивост на FeSe и чрез анализ на високите хармонични са изучени някои нетипични, асиметрични характеристики в променливотоковия магнитен отклик на този свръхпроводник.

Ефектът на демагнетизацията фактор по отношение на определянето на плътността на тока на раздвояване J_{dep} беше изследван за кристал Fe(Se,Te) с DC магнитни измервания като функция на магнитно поле (H) при различни температури (T). Първо бяха получени стойностите на по-ниското критично поле $H_{c1}(T)$ и ефектите на демагнетизиране, действащи върху тях, бяха изследвани след изчисляване на демагнетизацията фактор. Температурното поведение както на първоначалните H_{c1} стойности, така и на тези, получени след отчитане на ефектите на размагнитване ($H_{demag-c1}$) бяха анализирани и температурната зависимост на Лондоновата дълбочина на проникване (T) беше получена и в двата случая. По-специално беше установено, че кривите (T) имат поведение на степенна функция, което показва наличието на нискоенергийни квазичастични възбуждания.

Температурната зависимост на топлопроводимостта на проба от свръхпроводника FeSe_{0.94} е изследвана в диапазона от 4.2–200 K след изтичане на период от 7 години. Температурната зависимост на топлопроводимостта е предимно от фононен тип. При сравняване на параметрите за този модел с подобни параметри от литературни данни за пряко приготвена поликристална проба се оказва, че дългосрочната експозиция води до

значително увеличение на всички параметри. Съответно за дълги периоди време значително се увеличават дислокациите и точковите дефекти и се засилва електрон-фононното разсейване.

Изследвана е скоростта на процесите на запис и изтриване на информация в кондензаторни структури предназначени за създаване на енергонезависими памети памети на принципа на захват на заряди. Помнещите клетки са изпълнени на основата на $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ наноламинатни и легирани с Al HfO_2 диелектрици получени а атомно послойно отлагане. Разгледани са варианти на “помнещите” кондензатори с тунелен SiO_2 (2.4 и 3.5 nm), без тунелен SiO_2 , с и без допълнителна термична обработка на структурите в кислород. Изследванията са проведени с диапазон на записващите/изтриващите импулси в диапазона $10^{-7} \div 0.9$ s. Получените резултати показват, че най-голямо бързодействие на операцията запис се наблюдава при кондензатори без специално израснат тунелен диелектрик. При този тип кондензатори захвата на електрони започва при продължителност на импулсите 3×10^{-5} s, като количеството на захванатия заряд се увеличава плавно с увеличаването на продължителността на импулса. Кондензаторите с тунелен SiO_2 показват по-бавна реакция за операция запис, захватът на електрони започва при времена $10^{-4} \div 10^{-3}$ s., като кислородното отгряване допълнително увеличава необходимата дължина на импулса с около 1 порядък. В тези структури се наблюдава рязко увеличаване на захванатия заряд с увеличаването на продължителността на импулса. В рамките на една декада след началото на операцията „запис“ се захваща над 80% от максималния заряд, получаван при времена над 1s. Причините за наблюдаваното поведение все още се изясняват. Освобождаването на захванатите електрони или операция „изтриване“ започва при времена $\sim 10^{-6}$ s, но ефективността на процеса е ниска. Пълното освобождаване на захванатите електрони се наблюдава при времена $10^{-2} \div 10^{-1}$ s. Скоростите на „запис“ и „изтриване“ зависят от дебелината на тунелния диелектрик и амплитудата на прилагания импулс, като за всяка структура може да бъде подбран оптимален режим.

Извършена е оценка утечните токове при различни температури (от стайна до 100°C) в кондензатори с $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ наноламинатни слоеве в зависимост от дебелината на тунелния слой SiO_2 . Установено е, че утечния ток слабо зависи от температурата, което показва, че основните механизми на проводимост в структурите имат тунелна природа. Направен е опит за характеризиране на дълбочината на уловките в $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ наноламинатни слоеве и легирани с Al HfO_2 слоеве посредством метода ZBTSC (термично стимулирани токове при нулево напрежение).

Проведен е анализ на данни от спектралната елипсометрия на многослойни структури $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HfO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ за получаване на информация за индивидуалните дебелини на подслоевите HfO_2 и Al_2O_3 изграждащи наноламинатната част и тяхното отклонение от номиналната, определена въз основа на скоростта на отлагане. Показано е, че методът позволява ясно различаване на интерфейсите между подслоевите. Интерфейсните области са идентифицирани като състоящи се от смес от HfO_2 и Al_2O_3 с променлива по дебелината на наноламинатна ширина и съотношение.

Направен е обзор на наши систематични изследвания на мултислойни $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ структури като активен слой в кондензаторни структури в енергонезависими памети памети на принципа на захват на заряди. Демонстрирана е възможността за промяна на плътността, енергията и пространственото разпределение на електрическите уловки за съхранение на заряд чрез въвеждане на Al в HfO_2 . Разгледано е въздействието на състава на мултислойната структура, процеса на отгряване, материала и дебелината на тунелния оксид върху прозорците на помнене и характеристиките на задържане и издръжливост на структурите. Обсъдени са предизвикателствата пред оптимизирането на състава и технологията на помнещите клетки, за да се отговори на изискванията за висока плътност

на захванатия заряд и надеждно съхранение с незначителна загуба на заряди в помнещата клетка. Очертани са и перспективите и възможностите за по-нататъшни изследвания и иновации, базирани на мултислойни $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ структури.

Проведени са електрически измервания на структури $\text{TiN}/$ легирани с преходни метали (Ni , Co , Fe) ZnO/Pt . Волт-амперните (I - V) характеристики показаха, че легираните слоеве ZnO са с голяма проводимост. За да изясним възможните причини за това бяха извършени температурни изследвания (от стайна до 80°C) на волт-амперните (I - V) и волт-капацитивните (C - V) характеристики. Наблюдавано е, че токът през легираните слоеве ZnO показва слаба температурна зависимост в изследвания температурен диапазон. Най-добре температурната зависимост на тока е изразена за легираните с Fe слоеве ZnO , при които е наблюдавано слабо монотонно увеличаване на тока с температурата. Установено е, че зависимостта на тока от приложеното напрежение е почти линейна, което предполага омова проводимост. Получени са ниски стойности на активационната енергия на омовия процес, което означава примесно ниво, разположено много близко до проводимата зона и лесна йонизация на това ниво, което обяснява и наблюдаваната голяма проводимост. Бяха проведени също изследвания на температурната зависимост на дисперсионните капацитет-честотни (C - f) криви. Наблюдава се много силна зависимост не само от легиращия елемент, но и от приложеното напрежение V , като капацитетът може както да намалява, така и да нараства с температурата в зависимост от V . Това е доказателство за сложната природа на поляризационните процеси, които протичат в слоевете в зависимост от техния състав и параметрите на измерването (температура, честота и напрежение на измерващия сигнал). За легираните с Ni ZnO слоеве е установено увеличаване на капацитета в честотния интервал $f = 10^3 - 10^4$ Hz при всички температури и напрежения, което се свързва с наличието на допълнителен поляризационен механизъм в тези слоеве, поляризация на границите на кристални зърната и/или хетероинтерфейси (известна също като поляризация на Максвел-Вагнер).

Изследвани структурните и термодинамични свойства на бионаноккомпозити съставени от фосфолипиди 1-Stearoyl-2-oleoyl-sn-glycero-3-phosphocholine (SOPC) и амид / амидна група $[\text{CON}(\text{CH}_3)_2]$ / функционализирани едностенни въглеродни нанотръбички, използвайки съвременните структурни методи диференциална сканираща калориметрия (DSC) и електромагнитния ехо ефект (EMEE). Предложен е микроскопичен модел на основния фазов преход ламинарен гел - течен кристал, включващ както обемни, така и повърхностни сили, действащи и балансиращи конформацията на двуслойната структура. Чрез асиметрия на пиковата форма т.е. отклонение от кривата на Гаус, резултата от DSC демонстрира, че е по-близък до процесите на фазов преход в естествената биологична клетка, отколкото пикът на фазов преход получен чрез EMEE.

Разработени са метод и устройство за безконтактно детектиране на внедрени, подходящо функционализирани въглеродни нанотръбички в биомембрана посредством EMEE, с приложение в областта на медицината, фармацевтичната и химико-технологична промишленост и др. Могат да се използват за сравнителен анализ на структурните, термалните и електрохимичните свойства на моделни биомембрани и бионаноккомпозити, както и да се детектира наличието на внедрени подходящо функционализирани въглеродни нанотръбички в бислойната фосфолипидна биомембрана посредством измерване на електрически сигнал, индуциран в изследвания бионаноккомпозит от електромагнитния ехо ефект, който зависи от структурата и концентрацията на въглеродните нанотръбички в чистия фосфолипид.

Изследвани ефектите от квантуването на движението на електроните с уравнение на състоянието върху равновесния състав на кората на неутронна звезда в широки граници на силата на магнитното поле. В рамките на функционалната теория за плътността на ядрената енергия са разглеждани ефектите върху външната и вътрешната част на кората.

Аналитично и числено са изчислени енергиите на електрона на основното състояние, корекцията на масата и поляризацията на масата на ниско и многократно заредени йони, подобни на хелия. Двueleктронното уравнение на Шрьодингер е решено с пертурбационен подход, основан на експлицитно корелирани вълнови функции. Изследвани са корекциите, дължащи се на допълнителни измерения и са разгледани различни подходи за процедурата за минимизиране.

Изследвани са енергетичните характеристики на основното състояние на хелиоподобните електрон-ядрени системи за всички реално изследвани изотопи. Изследванията са в рамките на класическата квантова теория без никакви допълнителни предположения. Забележителен е факта, че получените резултати съответстват на всички физически и математически принципи и измервания.

През 2023 г. бяха осъществени първите опити за количествено определяне на топлинното поведение на три основни категории сажди, разграничени по морфология, порьозност, химичен състав и дебелина на филма. Постепенното охлаждане на шест двойки ненамокрями покрития от сажди разкри, че дифузионният топлинен транспорт в тяхната маса е придружен от разсейване на фонони, управлявано предимно от разположението на порите, размера на частиците, химическото свързване и разстоянието между слоевете в материала. На свой ред, саждите, включващи наночастици с размер $\sim 50\text{--}120\text{ nm}$, мезопори, умерено повърхностно окисление и дебелина, надвишаваща $50\text{ }\mu\text{m}$, показваха най-голям потенциал за забавяне на топлопроводимостта в обема на слоя, противоположно на емпирично установените механизми за топлопренос на границата твърдо вещество-течност. По този начин, обединяването на специфични физикохимични характеристики в рамките на едно покритие, чрез контролиран синтез от горящ пламък и алкохолно-флуоровъглеродна функционализация, би улеснило производството на персонализирани криовиални съдове, облекчаващи двуфакторното увреждане при замразяване на биологичен материал.

Прагматична стратегия за защита на бетонните конструкции от напукване, лющене и корозия е те да бъдат направени немокрими. Въпреки това, много хидрофобни модификатори са несъвместими с цимента, възпрепятстват неговата хидратация, притежават слаба алкална устойчивост и са токсични за околната среда, като по този начин забавят адаптивността на водоотблъскващи химикали в строителните материали. В пионерно изследване ние предложихме възможно иновативно решение на гореспоменатите недостатъци чрез нанасяне на силиконово-терпентинова смес върху предварително втвърден бетон и отлагане на сажди от рапично масло за превръщане на повърхността в свръххидрофобна. Така приготвеният силиконово-сажден композит потисна абсорбцията на вода и корозивни йони, термично изолира чистия бетон и издържа на механично износване причинено от абразия, обилен дъжд, динамично въздействие на капчици сярна киселина и залепваща лента. Нашето изобретение е времеспестяващо, мащабируемо и евтино, разкриващо възможности за лесен синтез на издръжлив свръххидрофобен бетон за подпомагане на изграждането на устойчиви промишлени съоръжения.

Нежеланото преместване на морски микроорганизми по време на плаване и прекомерните разходи за ремонт на корпуса на кораба, дължащи се на биообрастване, могат да бъдат предотвратени с помощта на свръххидрофобни покрития. За съжаление, комбинираният ефект от подводни течения и колонизираща активност на множество бактерии и микроорганизми върху антимикробното действие на съществуващите немокрями материали е все още в ранен етап на изучаване. Основна цел през 2023 г. беше да се оцени за първи път потенциалът на две механически устойчиви водоотблъскващи покрития от сажди за възпрепятстване на бактериалната пролиферация в „реални“ условия в открит воден басейн. Нашата изследователска група установи, че при

едноседмично потапяне в блато с морска вода и двата образца от сажди загубиха неомокряемите си свойства, поради изчерпване на уловения в порите на покритията газов слой, но въпреки това успяха да забавят развитието на биофилма в сравнение с непокритите железни повърхности и да спрат разпространението на някои Грам-отрицателни и Грам-положителни бактериални щамове. Забелязаната селективност на саждите спрямо потискането на пролиферацията на различните биозамърсители вероятно се дължи на разлики в клетъчните обвивки, степента на предизвикване на оксидативен стрес и образуване на токсични амонячни молекули чрез водородно свързване. Тези неизвестни досега антибактериални механизми на саждите разшириха хоризонтите на практическа приложимост отвъд конвенционалната рамка и акцентираха върху възможната бъдеща употреба на този тип въглеродни материали като медиатори на клетъчен растеж.

В рамките на 2023 г. за първи път беше изследвана промяната в биохимията на човешка семенна течност след смесване със силно хидрофобни наночастици от въглеродни сажди. След 270 минутна инкубация, активността на ензимите AST, ALT, CK, LDH и GGT в семиналната плазма на десет пациенти се промени обратно на регистрираната подвижност на сперматозоидите (т.е. по-ниска ензимна активност, по-висока подвижност и обратно). Това явление се обясни с прекратяване на формирането на ензим-субстратни комплекси под влияние на саждите или извличане на ензими от гаметите чрез химическо свързване със саждите. Тези нови механизми зависят от физикохимичните характеристики на използваните въглеродни наноматериали, разкривайки възможности за предсказуемо регулиране на репродуктивния потенциал на сперматозоидите.

Лесното и бързо установяване в реално време на съдържанието на метил във ферментирани напитки е от фундаментално значение за алкохолната и ресторантьорската индустрия, тъй като само 4 ml метанол попаднал в кръвта може да причини интоксикация или слепота. Ние представихме нова технология за детекция на метанол в алкохолни напитки чрез 5 MHz кварцов резонатор функционализиран с метал-фенолов слой. За разлика от други сензори на основата на кварцови резонатори, нашето устройство работи в условия на равновесен парен натиск, позволяващи бърза детекция на метилови фракции до седем пъти под допустимите нива в спиртни напитки (напр. уиски), като същевременно ефективно се потиска кръстосаната чувствителност към нежелани химични съединения като вода, петролев етер или амониев хидроксид. Освен това, добрата повърхностна адхезия на метал-фенолните химични групи придава на сензора отлична дълговременна стабилност, допринасяйки за повтаряема и обратима физическа сорбция на целевите аналити. Тези характеристики, съчетани с липсата на дебитомери, клапани и свързващи тръби, доставящи газовата смес, очертават вероятността за бъдещ дизайн на преносим сензорен прототип, подходящ за анализ на алкохоли в питейни заведения.

Бяха изследвани свойствата на Langmuir-Blodgett (LB) филми получени от арахидова и стеаринова киселини спрямо количеството монослоеве във филмите за детекция на пари на хлороформ с акустоелектронни високочестотни ПАВ сензори, базирани на АТ-срез двувходов Рейли-тип кварцов резонатор (414 MHz) и ST-срез ПАВ закъснителна линия (157,5 MHz). С помощта на двете устройства беше потвърдено, че филмът със 17 монослоя стеаринова киселина, отложен върху повърхността на ПАВ закъснителната линия при повърхностно налягане от 30 mN/m в твърдата фаза, има най-добрата чувствителност към парите на хлороформ в сравнение със същия филм с друг брой монослоеве. За отчитането на ПАВ резонатора, използвайки малко по-дълги молекули на арахидова киселина, оптималната производителност беше постигната с 17 LB слоя поради по-рязко намаляване на Q-фактора с увеличаване на маснатоварването.

Направление „НАНОФИЗИКА“

Хомогенните и наноструктурирани оксидни материали са с приложения в разнообразни устройства (различни видове транзистори, химически сензори, фотокатализатори, енергонезависими памети и много други), които често работят в радиационна среда. Поради това радиационната им устойчивост е от съществено значение и е предмет на многобройни изследвания. Направено беше обобщение на публикувани актуални данни, включително от изследвания, проведени в направление „Нанофизика“, за деструктивното влияние и полезните въздействия на облъчване на хомогенни и наноструктурирани оксиди със снопове от високоенергетични електрони и неутрони. Обсъдени са индуцирани от облъчването процеси на промяна в състава и подредеността на решетката, създаване на точкови дефекти и техни комплекси, генериране на двойки електрон-дупка и залавяне на заряд и т.н. Показано е, че радиацията може да има благоприятни от практическа гледна точка ефекти и са описани примери за такива ефекти: отгряване на съществуващи дефекти и подобряване на подредеността на решетката, повишаване на гладкостта на повърхността, модификация на интерфейса оксид/силиций, промени в състава на оксида, промяна на размера и кристалната структура на съществуващи нанофази и поява на нови нанофази в оксидни матрици, микроструктурни промени в наноструктурирани оксиди и др. Информацията за тези ефекти може да се използва за постигане на желани свойства при наноструктурирани и хомогенни оксиди.

През изтеклата 2023 г. детайлно са изследвани тънки слоеве от метални оксиди (ZnO и AZO) отложени чрез послойно атомно отлагане (ALD) върху Si подложки, за определяне на дебелините на слоевете и/или оптичните константи. За експериментите е използвана системата Woollam M2000D със спектрален диапазон (193-1000 nm). Методите на спектралната елипсометрия дават възможност за оптимизация и контрол при отлагането на FeO върху Si. Изследвани са тънки слоеве от AlN, отложени чрез ALD за оптимизиране на процеса на отлагане на AlN върху SiC подложки.

Изследвани са въглеродни слоеве aC:H и слоеве от SiC, отложени върху силициеви (Si) подложки. Приложени са различни подходи за моделиране на отложените слоеве. Допълнителна информация за състава и в някои случаи, за дебелините на слоевете са взети от данните от XPS, AFM, Talister измервания. По този начин акуратно са моделирани експерименталните дисперсионни криви за Ψ и Δ . Определени са дебелините на отложените слоеве, дисперсията на оптичните им константи (коефициента на пречупване (n) и коефициента на екстинкция (k)) в светлинния диапазон от 300 до 1000 nm.

В изпълнение на задача по проект КП-06-38/8 - 5.12.2019 г. „Наноразмерни покрития от 5p – блок метали и сребро за приложение в плазмониката“ с базова организация ИОМТ-БАН и ръководител доц. д-р Росен Тодоров е проведен обстоен литературен обзор относно особеностите във фазообразуването и синтеза на биметални сплави между елементите сребро и злато и преходните метали (Cd, In, Sn, Sb, Bi) от *p*-блока на Периодичната система на химичните елементи. Установено е, че всички анализирани полуметали имат добър афинитет, както към среброто, така и към златото и химичната реакция в системите *Ag(Au)-p-block Me* може да бъде реализирана дори в твърдо състояние.

Отложени са тънки биметални слоеве от системите Ag-Cd и Au-Sb чрез термично съизпарение и редуващо се отлагане на ултратънки слоеве от двата елемента с цел установяване на оптимални условия за едностъпален синтез на биметални сплави и стехиометрични съединения от изследваните системи с приложение в УВ плазмониката. Въз основа на резултатите от рентгенофазов и рентгеноструктурен анализ на получените образци е установено протичане на химична реакция, съобразно диаграмите на състояние

на двете изследвани системи и независимо от използвания метод за отлагане на слоевете, като при използване на метода на послойно отлагане на ултратънки слоеве от двата метала се получават по-хомогенни материали, както по отношение на фазова консистентност, така и по отношение на размера на съставлящите ги кристалити. Изследването на оптичните свойства и плазмонната активност на така получените тънкослойни покрития показва по-добра ефективност в ултравиолетовата област на спектъра на тези материали в сравнение с чистите злато и сребро и възможност за възбуждане на локализиран повърхностен плазмонен резонанс в интервала 3 - 10 eV.

Чрез AFM (Атомно-силова микроскопия), SEM (Сканираща електронна микроскопия), XRD (рентгенова дифракция) и Раманово разсейване бяха изследвани структурата и морфологията на три вида свежи и отгreti при 450°C за 2 часа слоеве от TiO₂ нанотръбички, получени чрез анодно окисление на чисти титаниеви подложки при подходящо вариране на условията на отлагане (приложено напрежение и време на окисидиране) от колеги от Автономния университет на Южна Калифорния в Мексикали, Мексико в рамките на неформално сътрудничество. Образците са предназначени за газови сензори. Данните от AFM и SEM за свежите слоеве бяха анализирани с помощта на специализиран софтуер и беше получена информация за средноквадратичната грапавост, размерното разпределение на порите, диаметъра на нанотръбичките и фракталната размерност на повърхността. Беше направен и фрактален анализ на изображенията на образци от ZnO, показал газова чувствителност към етанол и въз основа на данните беше направен сравнителен анализ и положени основите за създаване на модел за морфологичен контрол на газовата чувствителност, на базата на който за свежите образци беше определен образец 20-20 като оптимален кандидат за сензорна чувствителност. Получените резултати от Рентгенова дифракция, микро-Раманово разсейване (направено в рамките на ЕБР със Сърбия) и AFM бяха в много добро съгласие помежду си и показаха аморфна TiO₂ фаза за всички свежи образци, а при отгretите проби наличие на анатаз, рутил и аморфна фаза. Наблюдавана е зависимост на относителното съдържание на анатаз от размера на нанотръбичките. С увеличаване на диаметъра на нанотръбичките се увеличава съдържанието на анатаз спрямо това на рутила, като в пробите с най-малък диаметър, получени при 5V за 15 min, е регистрирана само фаза от рутил, а при пробите с най-голям съотношението анатаз-рутил достига 80:20. Наблюденията са в синхрон с очакваното повишение на температурата на кристализация от квантово-размерния ефект, т.е., че температурата на кристализация намалява с увеличаване на размера на нанокристалите. Рамановите спектри на отгretите образци са снети от визуално различни области: тъмни и светли повърхности. Те са различни, за разлика от спектрите, снети от тези области при свежите слоеве. Регистрирано е по-високо сравнително отношение на анатаз: рутил в светлите области в сравнение с тъмните области за всички изследвани образци. Проведени са XRD (рентгенова дифракция) изследвания на отгretите слоеве в Breg Brentano мод и Gracing Incidence мод с цел проверка на предположенията, че откритата с Раманови изследвания фаза от рутил в отгretите слоеве се дължи на слой с повишена концентрация на рутил, намиращ се между титаниевата подложка и нанотръбичките. Сравнението на дифрактограмите при стандартни условия (Breg Brentano) с тези, направени при малки ъгли (Gracing incidence) показва, че пика на фазата от рутил е с еднакъв интензитет при всички дифрактограми независимо колко висок е пика на фазата от анатаз. Отчитайки, че на нормалните дифрактограми рутила се вижда постоянно в еднакво количество, а при тези от малък ъгъл той почти изчезва при големи количества анатаз, беше направен извода, че фазата от анатаз е разположена върху фазата от рутил, т.е., първоначалните предположения, че наблюдаваната в подобни образци фаза от рутил се дължи на слой с повишена концентрация на рутил между подложката и нанотръбичките, са потвърдени. Наличието на по-голяма концентрация на рутил в черните области по повърхността се

обяснява с направените изследвания с атомно-силова микроскопия, които разкриха значително по-висока грапавост в тези области и дълбоки цепнатини в обема, явно разкриващи долния слой рутил.

Направление „ФИЗИКА НА МЕКАТА МАТЕРИЯ“

В полимерните нанокомпозитни слоеве, наличието на уникални интерфейси „полимер/нано-пълнител“ може да промени типа на конформация, който обикновено приемат полимерните молекули, както и свободните енергии, свързани с полимерните вериги, в близост до припокриващите се области. Ролята на интерфейса е свързана с мащаба на радиуса на въртене на полимерните вериги. В резултат на това възниква синергичното взаимодействие/конформация в „наноскопично ограничената междинна нанокомпозитна матрица“ и това допринася за подобряване на сегментната мобилност, поведението на релаксация, последващите термични преходи, оптични, електрически и механични свойства, които отсъстват в макроскопичния случай.

Изследвани са диелектричните свойства на гъвкави композитни диелектрични материали като функция от температурата. Образците бяха получени от полимера поли(етилен оксид) (PEO) и нематичния течен кристал E8 (в композиционно съотношение PEO:E8 = 70:30 wt%). Бяха анализирани честотните поведения, както на комплексния електрически модул, така и на диелектричната проникваемост на филмите PEO/E8 (150 μm дебелина), тъй като те са от практически интерес. Получена е информация за процесите на диелектрична релаксация, свързани с чувствителни към електрическо поле приложения на диелектричен композитен материал PEO/E8 (полимер/течен кристал). Резултатите показват, че изследваните йонопроводими, диелектрични, меки материали са обещаващи за използване в гъвкавата органична електроника и в диелектрични устройства, използвайки уникалните свойства на нематичните течни кристали при въздействие с електромагнитни полета. Получените резултати за молекулярната организация, динамиката на молекулярната релаксация и електрическата поляризация в изследваните йонно проводими полимер/ТК композитни комплекси могат да бъдат полезни при оптимизирането на тяхната структура и производителност и са привлекателни за приложения в гъвкава органична електроника, устройствата за съхранение на енергия и мехатрониката. Резултатите също са от значение при оценката термоиндуцираните промени и термичната стабилност около температурата на остъкляване T_g на съответните устройства на базата на тънки слоеве от разглежданите полимерни ТК материали.

Чрез макроскопични измервания с комплексна диелектрична спектроскопия, диелектричната проникваемост при стайна температура и динамиката на релаксация на нанокомпозита PEO/PVP/NaIO₄/TiO₂ със солни комплекси беше характеризирана в зависимост от концентрацията на включените TiO₂ NPs (варираща от 1 тегл.% до 5 тегл.%). Получените резултати показват, че TiO₂ NPs с размер 10 nm могат значително да повишат както диелектричната проникваемост, така и Na-йонната проводимост на изследваните композити (при състава полимерна смес/сол, избран от нас). Установено е, че оптималната концентрация на TiO₂ NPs за това е около 3 тегл.%. Източник на положителен ефект, както върху йонната проводимост, така и върху диелектричния отговор е интерфейсът между полимера и нанометричните TiO₂ добавки. Беше доказана промяна в поведението на диполната поляризация и релаксация на изследваните нанокомпозити чрез добавяне на TiO₂ NPs, ефект, който обикновено се приписва на индуцираните от TiO₂ наноповърхностни взаимодействия, които също влияят на йонната проводимост. Модифицирането на разглежданите макроскопични свойства на изследваните материали, дължащо се на включените TiO₂ NP, беше свързано със съответните комплексни взаимодействия атом/йон/наночастици. По същество тези взаимодействия се контролират

от етерното координационно място на РЕО, което прави този полимер полярен. Неорганичният нанопълнител TiO_2 играе двойна роля. Чрез наноповърхностни взаимодействия с функционални групи на полимерната смес РЕО/PVP и йонна неорганична сол NaIO_4 , нано TiO_2 подобрява диелектричните свойства и проводимостта на композитите РЕО/PVP/ NaIO_4 / TiO_2 . Този ефект обаче се отнася до определен процент от TiO_2 NPs. При концентрация над 3 тегл.%, TiO_2 NP, наночастиците действат отрицателно и възпрепятстват бързата миграция на Na йони през структурата РЕО/PVP/ NaIO_4 / TiO_2 , като по този начин намаляват, както проводимостта, така и диелектричните свойства. Диелектричните свойства на изследваните композити следват поведението от тип nonDebye. Резултатите за диелектричната функция и динамичните свойства на изследваната йон-дипол-нанопълнител електролитна система подкрепят предишни съобщения, че вградените TiO_2 NPs подобряват аморфната фаза на полукристална полимерна смес РЕО/PVP, комплексирана със солта NaIO_4 . По този начин TiO_2 NPs водят до подобряване на гъвкавостта на полимерните вериги. Диполярните и диелектричните свойства, както и релаксационното поведение на полимерните вериги на РЕО/PVP матрицата са важни фактори за проводимостта на Na-йони. Получената информация за промяната на диелектричното поведение и йонната проводимост поради включените TiO_2 NPs ще бъде полезна за инженеринг и оптимизиране на многофункционални материали, базирани на полимерни електролитни системи с вградени TiO_2 NPs за различни задачи, при които диелектричната реакция и проводимите свойства са централни за управление на тяхната ефективност. Те могат да бъдат използвани в ефективни Na-йонни батерии и други устройства за съхранение и преобразуване на енергия, както и в други иновативни сензорни системи и диелектрични устройства за приложения в полимерната електроника/йоника, сензорите и мехатрониката.

Получен е композит от едностенни въглеродни нанотръби, SWCNT (Meijo, Япония) и новосинтезиран термотропен течнокристален ((R,E)-4-(4-((3,7-диметилоктил) окси)стирил) фенил 4-(ундецилокси) бензоат)5, SB(3R)-11 посредством разтваряне в разтворител NMP и прилагане на ултрасоникация. В резултат на това, полученият композит, след изпаряване на разтворителя, съдържа 1 тегл. % SWCNTs. За изследване на композита бяха използвани диференциална сканираща калориметрия, раманова спектроскопия и поляризирана оптична микроскопия. Резултатите показват, че композитът запазва течнокристалното състояние, но термичната стабилност и броят на фазовите преходи са силно повлияни от присъствието на SWCNT-те тръбички.

Изследвана е възможността за създаване на спин-поляризирани полупроводникови лазери с вертикално излъчване (спин-виксел) на базата на интегриран нематичен течен кристал. Тази хибридна лазерна структура е способна не само да притежава извънредно голямо двойнолъчепречупване, но и да осъществи електрооптичен контрол. За тази цел беше предложена многослойна структура на спин-виксел с течнокристален слой във втори резонатор, оптически свързан към основния активен полупроводников резонатор. Демонстриран е контрол на двулъчепречупването и дихроизма чрез прилагане на електрично поле посредством електрооптичната преориентация на течнокристалните молекули.

Измененията в биофизичните свойства на червените кръвни клетки дават важна информация за функционалното значение и терапевтичния потенциал на серумни антитела и пептиди с цитолитично действие. Проведени са електрокинетични измервания и са изследвани окислителните процеси при еритроцити в присъствие на имуноглобулин G, хематин, мелитин и комбинации от тях. Чрез електрохимична импедансна спектроскопия е направена оценка на електричните свойства на моделни липидни мембрани в присъствието на мелитин. Наблюдавано е увеличение на електричния капацитет и намаляване на съпротивлението на мембраната в резултат от промени в

дебелината на мембраната и диелектричната ѝ проникваемост при концентрации на хемолитичния пептид до 0,10 g/L. При по-високи такива се наблюдава обратният ефект вследствие на формирането на тетрамерни мелитинови структури, променящо взаимодействието между пептида и моделната система.

Ново предизвикателство е получаването и изследването на: керамични многофункционални материали, съдържащи фази с различни свойства (ферромагнитни фази, свръхпроводими фази и други); Ti-Ni и Ti-Nb метални сплави и условия, водещи до промени в тяхната морфология, структура и свойства (механични, електрични, свръхпроводящи, магнитни и др.), както и появата на нови ефекти, които определят тяхното приложение. Керамичните многофункционални материали показват огромен потенциал при използването им в електрохимични приложения, като напоследък атрактивно приложение намира BSCCO (2201 и 2212) купратна керамика като добавка в активната маса на Zn електрод за производството на Ni/Zn батерии. Ti-Ni и Ti-Nb метални сплави се предлагат на пазара и се използват в стоматологията като ортодонтични дъги, които са едни от най-важните елементи при лечение с фиксирана техника в ортодонтичната практика и главен източник на сили при ортодонтично лечение.

Изследвани са електрохимични алкални системи, чиито Zn електроди (аноди) съдържат цинкова активна маса с добавка на B(Pb)SCCO 2212 проводима купратна керамика (концентрация: 5, 7 и 10 тегл.%). Получената активна маса е структурно изследвана чрез сканираща електронна микроскопия (SEM) и рентгенова дифракция (XRD). Електрохимичните клетки, сглобени с анод, приготвен с помощта на активна маса и добавка са изследвани чрез проучване на електрическия импеданс на електрохимични системи (ECSs). Изследван е ефектът от концентрацията на B(Pb)SCCO 2212 керамика върху импедиметричния отклик на електрохимичните клетки. Резултатите показват, че в сравнение със 7 тегл.% и 10 тегл.% концентрация на проводяща керамика B(Pb)SCCO 2212, добавена към Zn маса на анода, концентрация от 5 тегл.% води до по-ниски електрически загуби.

Проведени са изследвания на: обемна немонофазна керамика от системите RE-Ba-Cu-O (ReBCO, RE = редкоземни; Y, Dy) и Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O (B(Pb) SCCO), получени чрез твърдофазен синтез, които са свръхпроводници; обемна керамичен композит Y123/BaCuO₂ синтезиран с начална стехиометрия 1:3:4 (Y:Ba:Cu) чрез процедура в една стъпка, притежаващ свръхпроводими и магнитни свойства при ниски температури; DyBCO обемна керамика с нано-Fe₃O₄ добавка, синтезирана и изследвана за идентифициране на фазовия и елементен състав, микроструктурата и температурата на свръхпроводящ преход; фазите на Aurivillius синтезирани чрез твърдофазен синтез и метод на закаляване с отгряване; B(Pb)SCCO керамика (2223, 2212 и 2201), с проводими свойства, използвана като добавка към активната маса на Zn електрод, като методът на смесване на материалите също е изследван; изследвано е поведението на електродите в алкална среда и е установено положителното влияние на добавката върху свойствата на никел-цинковата батерия.

Резултатите са систематизирани и публикувани в глава от книга със заглавие “Ceramic Materials - Present and Future”. Тема на главата: „Изследвания върху многофункционални керамични материали за тяхното приложение“. Част от изследванията са патентовани.

Изследвани са многосилови ортодонтични дъги (Tritanium®, American orthodontics; Bioactive®, GC) с размери 0,016 x 0,022 инча за периоди до и над 8 седмици. Тези дъги са термодинамични, направени от никел-титанова сплав. Те прилагат биологично поносими сили по дължината си, прогресивно увеличаващи се отпред назад. Фронталният дъгов сегмент разпределя най-слаба сила, премоларният – по-голяма и моларният – най-голяма. Определени са физикохимичните и механичните им свойства. За целта са използвани

съвременни методи като: рентгеноструктурен анализ (XDR), сканираща електронна микроскопия (SEM), енергийно-дисперсионен анализ (EDS), лазерно индуцирана плазмена спектроскопия (LIBS), диференциална сканираща калориметрия (DSC) и триточков тест на огъване. Получените данни са анализирани статистически (ANOVA). Резултатите показват, че дъгите са съставени от никел (55wt.%) и титан (45wt.%) като основни елементи, а в някои от регионите като микроелементи са регистрирани Fe и Cr. Механичните свойства на дъгите остават непроменени след период на употреба над 8 седмици и не показват статистически значима промяна. Дъгата Bio-active™ може да се определят като мартензитно-активни дъги, с Af над стайна температура. Температурата Af е различна за всички сегменти на дъгата и тяхното термично поведение остава непроменено по време на и след клинична употреба. Тези резултати дават по-ясна информация за свойствата на Bio-active™ и Tritanium™ дъгите, което позволява на практикуващите ортоданти по-точно да преценят в кой етап от лечението на пациентите да бъдат използвани.

Археозомите са ново поколение стабилни липозоми, съставени от естествени естерни липиди, извлечени от археи (архебактерии), или синтетични археални липиди. Археите представляват вид едноклетъчни микроорганизми, които са структурно подобни на бактериите, но еволюционно различни от тях. Те синтезират уникални мембранни липиди с изопреноидни въглеводородни вериги, прикрепени чрез етерна връзка към глицерол-фосфатния скелет. В сравнение с естерните връзки, преобладаващи в липидите на еукариотите и бактериите, естерните връзки в липидите на археите са по-стабилни при различни условия на околната среда като високи/ниски температури, киселинно или алкално pH, жлъчни соли и ензимна хидролиза. Тази тяхна характеристика е заинтригувала учените да използват археални липиди за приготвяне на археозоми с превъзходна физикохимична стабилност и да ги прилагат като ефективни носители за пренос и целева доставка на различни препарати от биомедицинско значение като лекарства, протеини, пептиди, гени и антиоксидантни вещества. Археозомите, носещи антигени и/или адюванти, също са се доказали като по-добри кандидати за стимулиране на антиген-специфични и клетъчно-медирирани имунни отговори, което разширява техния обхват за употреба също като системи за доставка на ваксини. Отличната биосъвместимост и безопасност на археалните липиди обуславят многобройните предимства на археозомите да бъдат проектирани и използвани като многофункционални комплекси за пренос и целева доставка в кръвта. С цел задълбочаване познаването на структурата и свойствата на археозомите, изследване на влиянието на различни добавки и последващо внедряване на тези комплексни системи в практиката е направено изчерпателно проучване на тези структури и е изготвен обзор на наличните данни за този вид липидни структури, като е акцентирано върху техните предимства при всевъзможни биомедицински приложения. Също така, в изготвения обзор в дълбочина са разгледани уникалните характеристики на археалните липиди, подготовката и характеризирането на археозомите и перспективите, свързани с използването им като „капсули“ за пренос и целева доставка на лекарства и други биомедицински приложения.

Настоящото изследване има за цел да анализира ефекта от добавката на различни концентрации (0,5, 1 и 2 тегл.%) функционализирани с додекантиол хидрофобни златни наночастици върху структурата и флуидитета на липидна мембрана, съставена от липида стеароил олеоил фосфатидилхолин (SOPC) с помощта на Фурие-трансформираща инфрачервена спектроскопия и флуоресцентна спектроскопия. За целта използваните наночастици са характеризирани с помощта на трансмисионна електронна микроскопия и динамичното светоразсейване, като за размера на златните наночастици (ЗНЧ) е получено съответно 2.2 ± 1.1 nm и 3.5 ± 1.6 nm. Разликата в данните, получени по двата метода, се дължи на факта, че ТЕМ измерва действителния размер на частиците, докато

светоразсейването показва хидродинамичния диаметър и измерва дебелината на повърхностното покритие и слоя разтворител, заобикалящ наночастиците. Измерванията от UV-видима спектроскопия показват, че изследваните от нас ЗНЧ абсорбират лазерна светлина приоритетно в спектралния диапазон от 250 до 300 nm, а от измерванията на зета потенциала е получено, че повърхностния заряд на частиците е около $7 \pm 1,5$ mV. Получените по метода на Фурие-трансформираща инфрачервена спектроскопия резултати показват, че ЗНЧ предизвикват леко изместване в ивицата на разтягане на метиленовата група, докато позициите на разтягане на карбонилната и фосфатната група остават незасегнати. Като извод от изследването може да се каже, че ЗНЧ в изследваната концентрация (до 2 тегл.%) не променят значително структурните характеристики на SOPC липидните мембрани и следователно могат да се считат за безопасни и подходящи за използване както за „in vitro“ така и за „in vivo“ приложения. В допълнение на изследването на структурните промени, индуцирани от добавката на златни наночастици е извършено изследване на влиянието им върху стабилността и флуидитета на SOPC липидни мембрани с помощта на методите на динамично светоразсейване и флуоресцентна спектроскопия. Параметърът на подреждане на мембраната на липидните системи е анализиран чрез измервания на температурно-зависимата анизотропия, като се използват две флуоресцентни сонди, 1,6-дифенил-1,3,5-хексатриен и неговото катионно производно 1-(4-триметиламониев) фенил)-6-фенил-1,3,5-хексатриен. Получените зависимости за контролните системи (чисти липидни системи) и за тези с вградени в мембраната златни наночастици с хидрофобно покритие са много близки помежду си, което показва, че наличието на хидрофобни ЗНЧ в двуслойната липидна система не оказва значително въздействие върху флуидитета на мембраната. Резултатите от проведеното изследване показват, че хибридните липозомни системи, съдържащи ЗНЧ имат потенциал да бъдат широко използвани за различни биомедицински приложения, включително „капсули“ за пренос и целева доставка на лекарствени препарати и противоракова терапия, базирана на хипертермия.

С цел подобряване на разделителната способност на конвенционална нанофилтрационна мембрана (Microdyn Nadir NP030P) във водно етанолна среда, е постигната модификация на приповърхностния полиетерсулфонов слой. За целите на изследването са синтезирани и тествани като модификатори три вида кополимери на поливинилов алкохол с разнообразен хидрофилно-липофилен баланс: двоен хидрофилен кополимер с прикачени поли(N,N'- диметил акриламидни) странични вериги, амфифилен кополимер с ацетатни групи, въведени по полимерните вериги и амфифилен кополимер с прикачени хидрофобни полиметилметакрилатни странични вериги. За отлагане на кополимерни тънки филми върху повърхността на конвенционалната мембрана са използвани техники на центрофугиране и химическо омрежване.

Химическата структура и свойствата на кополимерите са оценени посредством аналитични техники. Съставът на кополимерите е оценен чрез използване на конвенционални методи, включително ядрено-магнитен резонанс и Фурие-трансформираща инфрачервена спектроскопия. Промяната на хидрофилно-липофилния баланс при повърхността на мембраната е изследвана чрез измерване на контактния ъгъл, а повърхностната микроструктура е охарактеризирана с Фурие-трансформираща инфрачервена спектроскопия, както и с оптична и сканираща електронна микроскопия. Механичните свойства на модифицираните мембрани са тествани и сравнявани с тези на конвенционалната плоска мембрана Microdyn Nadir NP030P. Установено е, че механичните свойства на всички мембрани, модифицирани чрез центрофугиране, са значително по-високи в сравнение с изходната мембрана.

Синтезираните хидрофилни и амфифилни кополимери на основата на поливинилов алкохол показват значителен потенциал да променят повърхностните свойства на

изходната полиетерсулфонова мембрана. Установено е, че амфибилния кополимер с прикачени хидрофобни полиметилметакрилатни странични вериги не е съвместим с изходната мембрана, води до получаване на неравномерни грапави филми, което намалява пропускливостта на модифицираната мембрана. Модифицираните мембрани, с участието на другите два кополимера, показват повишена пропускливост и подобрена селективност към моделни водно-etanoлови разтвори и червени вина.

Направление „ФИЗИЧЕСКА ОПТИКА И ОПТИЧНИ МЕТОДИ“

В тематичен обзор са представени и обсъдени резултати и констатации, докладвани през последните пет години относно йонно-проводящи композити, синтезирани от полимери и молекули на нематични течни кристали, а също и техните приложения понастоящем и в бъдеще. В представения преглед са очертани усилията в тази изследователска посока с цел разработване на нови йонно-проводими материали и по-нататъшно разнообразяване на техните приложения, новите тенденции в тяхното производство, възможностите за бъдещи изследване, някои предложени подобрения и творческите идеи, свързани с тези авангардни материали и техните интелигентни приложения. Разискванията са онагледени с подбрани примери за приложение на оптическа спектроскопия, комплексна електрическа импедансна спектроскопия и комплексна диелектрична спектроскопия за характеризиране на ключови характеристики на такива композитни материали (като например, йонна проводимост и диелектрична възприемчивост).

Изследвани са фоточувствителни тънки филми с дебелина 3 μm , формирани от звездообразен трис-хидразонен дискотичен мезоген LTTH6 – макромолекулна структура с три разклонения. В този дискотичен течен кристал са включени едностенни въглеродни нанотръбички (SWCNTs) с диаметър 1.5 nm, при концентрация 1 тегл.%. Филмите от SWCNT/LTTH6 са характеризирани с UV-Vis-NIR спектроскопия и поляризационна оптична микроскопия. Доказа се, че при стайна температура изследваният нанокомпозит е в колонна точно-кристална фаза в стъклообразно състояние, което е ценно свойство за практическо приложение, например в органичната опто-електроника и сензорика. При осветяване на филми SWCNT/LTTH6 със светлина с малък интензитет ($\sim 1 \text{ mW/cm}^2$) в УВ и видимия спектрален диапазон, техният фотоелектричен отклик е анализиран чрез комплексна електрическа импедансна спектроскопия в честотния диапазон от 1 Hz до 1 MHz на приложеното електрическо поле. Обяснена е ролята на SWCNTs за наблюдавания фотоелектричен ефект. Получените резултати показват, че електрическата проводимост на филмите SWCNT/LTTH6 може да се контролира със светлина, като се използва контролируемото топлинно поведение на електрическата проводимост на SWCNTs в нанокомпозита SWCNT/LTTH6. Установено е, че фото-контролируемият ефект в изследваните дискотични нанокомпозити е обратим. Това е от практически интерес за оптоелектронни приложения – изследваните нанокомпозити SWCNT/LTTH6 могат да служат като активни слоеве за сензори и в електронни устройства, функциониращи при температура на околната среда.

Чрез комплексна електрическа импедансна спектроскопия е определено честотното поведение (в диапазона 1 Hz – 1 MHz) на комплексния електрически модул (M) на гъвкави филми (с дебелина 150 μm) от композитен електролит, провеждащ Na^+ йони, произведен от полимер поли(етилен окис) (PEO), нематичен течен кристал E8 и солта NaIO_4 (в композиционно съотношение $\text{PEO:E8:NaIO}_4 = 63:27:10 \text{ wt\%}$). Определени са характеристиките на диелектрична релаксация и релаксацията на йонната проводимост в композита полимер/течен кристал PEO/E8/NaIO_4 , свързани с приложенията на този йонно-проводящ диелектричен материал в гъвкавата органична електроника и диелектрични

устройства. Чрез измерване на електрическия модул на PEO/E8/NaIO₄ филми е установено наличието на бързо-ориентиращи се диполи в композитната електролитна система PEO/E8/NaIO₄, които поддържат нейната бърза йонна проводимост. От изследването на електрическия модул в честотната област може да се заключи, че релаксацията на йонната проводимост в PEO/E8/NaIO₄ има важна роля за йонния транспорт в този гъвкав Na⁺-йонен проводник. Установено е, че релаксацията на йонната проводимост е силно повлияна от приноса на полимерната сегментна релаксация в композитната система полимер/нематичен течен кристал. Изследвана е промяната на комплексния електрически модул с температурата и е установено увеличаване на честотата на релаксация с температурата, дължащо се на повишената гъвкавост на полимерната верига и съответната повишена подвижност на Na⁺ йони с температурата. Получените резултати показват, че изследваният йонно-проводящ диелектричен материал е обещаващ за приложения като йонен електролит в гъвкавата органична електроника и в диелектрични устройства. Освен това, системата полимер/нематичен течен кристал прави възможно използването на уникалните свойства на нематичните течни кристали под въздействие на електромагнитни полета.

Обект на изследване бе какъв ефект има добавянето на наночастици от TiO₂ (с размер 10 nm) при концентрации 1, 2, 3, 4 и 5 тегл.% върху диелектричното поведение на йонно-проводяща полимерна нанокомпозитна система, базирана на бинарна полимерна смес от поли(етилеилен окис) (PEO) и поливинил пиролон (PVP), която образува комплекс с натриев метапериодат (NaIO₄) при концентрация 10 тегл.%, (солта NaIO₄ е донор на йони Na⁺). Нанокомпозитни PEO/PVP/NaIO₄/TiO₂ филми (150 μ m дебелина) са характеризирани при стайна температура чрез анализиране на техния комплексен електрически импеданс и диелектричните им спектри в диапазона 1Hz – 1MHz. При концентрация 3 тегл.% на наночастици от TiO₂, както йонната проводимост, така и диелектричната проникваемост на йонно-проводящия диелектричен материал PEO/PVP/NaIO₄/TiO₂ достигат увеличение с повече от един порядък в сравнение със случая без нанодобавки. Ефектът е обяснен, а също и причината за редукцията му при по-големи концентрации на наночастиците от TiO₂. Резултатите от това изследване са от значение за получаването на нанокомпозитни полимерни йонно-проводящи електролити с подобрени качества.

Изследвани са флуоресцентните свойства и кинетиката на фото-превключването на нови синтезирани фотохромни флуоресцентни спирооксазини в разреждени разтвори (10⁻⁴–10⁻⁵ M), а също и образуването на техни органо-метални комплекси с йони на: Mg²⁺, Ca²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺ или Pb²⁺ в разтвори с много малка концентрация (също 10⁻⁵ M), което е едно от важните практически фото-контролируеми приложения на спирооксазините. Установени са оптималните условия за взаимодействието на спирооксазиновите съединения с металните йони при комплексобразуването.

Експериментално е изследвана възможността да се постигне ефективен контрол на пропускането на лазерна светлина през филми от нематични течни кристали в планарно-ориентирани клетки. Показано е, че такъв контрол може да се осъществи чрез стационарни микропериодични паралелни ивични текстури, образувани в такива филми под въздействие на постоянно електрическо поле, приложено към тях. Установено е, че такава пространствено-периодична текстура функционира като оптическа фазова решетка. Демонстрирано е, че чрез промяна на интензитета на полето (и по този начин промяна на предизвиканата от електричното поле периодична модулация на нематичния директор, и следователно - промяна на комплексната функция на пропускливост, съответстваща на текстурната област, индуцирана в такива филми с първоначално планарно ориентиране, може да бъде управляван интензитета на линейно поляризиран лазерен лъч, преминал през филмите. Във филми от нематичен течен кристал пентилцианобифенил (5CB) с дебелина 25 μ m при стайна температура, този ефект води до рязко и дълбоко V-образно поведение

на тяхното електро-оптично контролирано пропускане на кохерентна светлина, при доста ниско напрежение (~ 4 V). Съответният физичен механизъм е анализиран и обяснен. Стационарни надлъжни домени, образувани в планарно-ориентирани нематични филми под въздействие на постоянно електрическо поле (с ниско напрежение) водят до кохерентно разсейване на светлината и дифракция. Установено е, че наблюдаваният ефект е максимален, когато поляризацията на падащата светлинна вълна е по посоката на ориентацията на индуцираните от полето стационарни надлъжни домени. Чрез включване на специфични добавки, напр. наностици, оптичният контраст на амплитудна модулация на кохерентна светлина, постигнат чрез наблюдавания електро-оптичен ефект, може да достигне 10^4 , което е недостижимо с конвенционалните устройства за активно управление на светлината, базирани на нематични течни кристали. Такива електрически-контролирани оптични фазови решетки и неабсорбиращи светлинни дифузори могат да служат за различни микрооптични и фотонни приложения. Изследването е с фундаментален и научно-приложен характер, и е пряко ориентирано към дифракционната и адаптивна оптика и съответни ефективни устройства, работещи при стайни температури и лесно контролируеми със слаби постоянни електрически полета (в случая е достатъчно напрежение под 5 V). Установената специфична V-образна характеристика на електро-оптичния отклик на изследваните нематични течни кристали и техни нанокompозити може да намери приложение и за контрол и обработка на сигнали, както и за регистриране на слаби динамични електрични полета.

Нанокompозит, изграден от водородосвързан димер течен кристал 4-хептилоксибензоена киселина (7OBA) и графенов оксид (GO), проявяващ серия от фазови преходи и фази, които не са типични за чистия 7OBA, беше изследван чрез оптичен поляризационен микротекстурен анализ и раман спектроскопия. Използваме нанокompозита 7OBA/GO поради ефективните функционализиращи свойства на GO, за да изследваме генерирането и развитието на фероелектричната смектична C_G фаза в нейната двойнонаклонена структура. За появата на C_G фазата с нейните подструктури предлагаме обяснение, основаващо се на образуването на водородни връзки между 7OBA димери в затворени и отворени конформации и GO листовете, подпомогнати от π - π взаимодействието с графенови хексагони, които са свободни от функционални групи. Предложихме молекулярни и макроскопични модели за субструктурите C_{Gel} и C_{Gln} и посочваме тяхната триклинна C_1 симетрия, характеризираща се с полярен вектор, с наклон спрямо слоевете. Това потвърждава, че двойнонаклонената C_G и нейните подструктури са фероелектрични в по-голямата си част подобно на твърдите фероелектрици, като по този начин показват потенциал като материал за контролируеми фотонни функционални устройства.

Методите на ИЧ спектроскопия са приложени в изучаване на ефекта на антитуморни и антибактериални пептидни биомедикаменти върху мембраната на засегнатите клетки. Изследвани са пет образци на водни суспензии на липидни везикули с добавка на 5 различни медикамента. Наличието на вода в образците създава проблем при интерпретацията на спектрите, тъй като нейните широки и интензивни линии на поглъщане съвпадат с някои линии на активните компоненти. В такива случаи се изважда спектърът на водата, което намалява драстично фотометричната скала на остатъчния спектър и за избягване на шумовете са необходими голям брой сканирания. Спектрите в средния ИЧ спектър $4000\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ са получени със спектрофотометър Vertex 70 на Bruker от висок клас с Фурие-преобразуване, уникален за България. Измерванията в геометрия на пълно вътрешно отражение (ПВО) повишават на порядък чувствителността им на фотометричната скала до части от процента. Получените спектри дават информация за мястото и механизмите на междумолекулните взаимодействия на пептидите с бислоя на мембраната.

Преимущество на дългите липидни молекули (РОРС) е, че специфичните вибрации на функционално обособените им части са спектрално разделени. Най-високочестотните линии ($2800\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$) характеризират вибрационните модове в липидните хидрофобни вериги, а също и състоянието на хидратиране чрез водородни връзки на целия РОРС-агрегат. Ниските честоти ($800\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$) са специфични за комбиниранияте вибрационни модове в полярните хидрофилни глави на РОРС молекулите. За свързващото тези две части звено - глицеролните естери е характерна линията на поглъщане на C=O около 1700 cm^{-1} . Модификациите на линиите свидетелстват за влиянието на пептидите върху везикулната мембрана. Установено е, че някои от биомедикаментите променят структурата на полярните глави на мембранната повърхност. Добавянето на бензолни пръстени в пептидния агрегат активира тяхното въздействие върху глицеролната група на липида, водещо до пробив в мембраната и възможното навлизане на медикамента в клетката.

Изследвано е и влиянието на липидния бислой върху свойствата на пептидната структура и нейната ориентация спрямо мембранната повърхност. Удължаването на пептидната верига води преимуществено към латерално подреждане. Ориентацията зависи също от различната природа на взаимодействие както на спиралната част, така и на късите катионни странични вериги на пептида.

В резултат на литературното проучване бяха анализирани подходите и методите за решаване на обратната задача за определяне на оптичните константи на тънки слоеве.

Бяха проведени серия от отлагания и характеризиране (снемане на спектралните характеристики на пропускане и отражение) в диапазона $200\text{--}1000\text{ nm}$ на Al_2O_3 и SiO_2 . На базата на получените данни бяха определени зависимостите на показателя на пречупване и поглъщане от дължината на вълната (дисперсионните криви).

Деятностите по получаване и характеризиране на единични слоеве бяха продължени с отлагане на филми от ZrO_2 . Беше решено да се проведат два типа технологични процеса – 1) с използване на йонно асистиране, при „ниска“ температура на подложките и 2) при температура на подложките $\sim 250^\circ\text{C}$, без асистиране. За всеки от двата типа процеса бяха отложени слоеве от ZrO_2 с отчетени дебелини 50, 100, 200 и 400 nm. Спектрофотометричното характеризиране на получените образци беше осъществено на спектрофотометър Lambda 1050 (Perkin Elmer), с наличните 3-детекторен модул (за пропускане); универсална приставка отражение (URA) и 150mm интегрираща сфера. Извършени са и елипсометрични измервания на слоеве от циркониев окис ZrO_2 отложени чрез вакуумно отлагане върху подложки от силиций (Si). Получените резултати са сравнени с измервания на същите слоеве на спектрофотометър Lambda 1050. Получените данни се систематизират и обработват.

Въз основа на първичните резултати бяха направени експерименти за отлагане на многослойни оптични покрития – просветляващи, огледала и светоделителни кубове. Чрез приложените спектрофотометрични методи за определяне на оптичните константи на тънки слоеве от оксиди (SiO_2 и TiO_2) с различни дебелини са моделирани три вида светоделители: неутрален, дихроичен и поляризационен.

Проучена е съвременната публикувана информация относно методологиите за решаването на обратната задача в тънкослойната оптика, като особено внимание е отделено на методологиите, включващи употребата на невронни мрежи, и е установена тяхната приложимост. На базата на експерименталните оптични спектри на тънки единични слоеве от оксиди с различни дебелини в различни технологични режими е започнато формирането на база данни с цел обучение на невронните мрежи.

През 2023 г. продължихме изследванията си на оптични солитони и честотни гребени, по-специално на въздействието на Кер ефект и стимулирано Раманово разсейване в режим на нестабилности от пътуващи вълни. Първо, изведохме уравнение на Суифт-Хохенберг с нелокално оптично забавяне от уравнението на Лужато-Лефевър. Второ,

характеризирахме движението на периодичните решения като определихме прага и скоростта им в супер и суб-критичен режим. Конструирахме бифуркационната диаграма и показахме възникването на движещи се периодични структури и локализирани светли и тъмни солитони. Показахме, че стимулираното Раман разсейване силно въздейства върху динамиката на тези структури като индуцира движението им. Числено изследване на генералното уравнение на Лужато-Лефевър потвърди наличието на изоли от локализирани структури.

Демонстрирахме теоретично, че два ВИКСЕЛ-а, разположени един срещу друг като единия е под електрическо напрежение, а другия не е, могат да служат като алтернатива на обичайно използваните SESAM ВЕКСЕЛ-и за генериране на къси светлинни импулси чрез модово заключване. За целта разработихме модел на диференциални уравнения със забавяне. Изследвахме режимите на нелинейна динамика в параметричното пространство, дефинирано от коефициентите на отражение и тока на напompване.

Предложихме нова конструкция на спин-ВИКСЕЛ с вграден нематичен течен кристал (ТК) във втори резонатор. Проектирахме такъв ТК-ВИКСЕЛ със свързани резонатори и разработихме процедура за пресмятане на поляризационно разрешените надлъжни моди и техните коефициенти на вълноводно ограничаване в квантовите ями. Чрез използване на тези характеристики успяхме да усъвършенстваме съществуващия математичен модел на спин-ВИКСЕЛ-ите така, че да включи зависещите от електричното напрежение двоелъчепречупване и дихроизъм. По този начин демонстрирахме, че тези ТК-ВИКСЕЛ-и могат да достигнат модулация на малък сигнал (3-dB) с честота от няколко стотин GHz.

Проведохме теоретично изследване на Фабри-Перо резонатор с централен слой от нематичен течен кристал (НТК) с цел нелинейно поляризационно въртене (НПВ) за пасивно модово заключване и генерация на Q-импулси. За целта разработихме самосъгласувана процедура за пресмятане на динамичния отговор на устройството като функция на входящия интензитет и поляризация на светлината. Показахме как позитивна обратна връзка за оптична ориентация на течния кристален директор води до превключване на резонатора в състояние на високо пропускане. Демонстрирахме как времето на забавяне между входящия импулс и превключването на резонатора може да се избегне с накланяне на молекулите на ТК на границите. Демонстрирахме Q-превключване с μs импулси и kHz скорост. По нататъшно скъсяване на импулсите е възможно чрез увеличаване или на входящата мощност или на финеса на резонатора. Също демонстрирахме MHz скорост и ns-импулси чрез използването на електро-оптичен преход от едноосно в двуосно лъчепречупващо състояние на ТК.

Направени са измервания и пресмятания на полуълновото напрежение на модулатори от Мах-Цендеров тип, получени с протонен обмен в литиев ниобат. Полуълновото напрежение и честотната лента са най-важните параметри на модулаторите и характеризират тяхната ефективност. Регистрирана е рязка промяна полуълновото напрежение с продължителност над една минута в диапазона от 0 до 10V на предавателната функция, при което отклонението на полуълновото напрежение може да достигне до 30% от първоначалната му стойност. Този ефект е свързан с дрейфа на работната точка и може да се използва за известна оценка на стабилността на този тип модулатори. В допълнение, електрооптичните параметри бяха измерени при честота на модулация над 1 GHz. Получените резултати са важни за подобряване на стабилността и производителността на Мах-Цендер модулаторите, получени с протонен обмен в литиев ниобат.

Направен е числен анализ на поведението на йоните на границата стопилка-кристал по време на протонен обмен в литиев ниобат. Предложеният математически модел използва приближението за непрекъсната среда при описанието на дифузията, на

електростатичните механизми на преноса на маса и рекомбинационния механизъм при взаимодействието на йоните. Резултатите от численото моделиране показват образуването на граничен слой от бензоатни йони, като в същото време нееднородностите, които се появяват в слоя не създават нестабилност, която би нарушила механичното равновесие, и не водят до силна концентрационна конвекция.

Отпечатани са и останалите две части от обзора за дейността на Лаборатория „Оптика и спектроскопия“ от създаването ѝ досега, с акцент върху приложните аспекти и основните направления в научните изследвания на Лабораторията.

Със спектрометър FT-IR Vertex 70 (Bruker) и спектрофотометър UV-VIS-NIR Lambda 1050 Perkin Elmer са извършени измервания на прахови проби на CaCO_3 , тип исландски шпат, където се вижда основна лента за карбонатните минерали между 2300 и 2400 nm и вода в областта около 1900 nm. Изследването е във връзка с оценка на възможността за добив и приложение на суровина от исландски шпат в материал за електрониката, след анализ на рентабилността от добива в района, където е открит. Изследвани са спектралните характеристики във UV-VIS на отражение и пропускане и графично са представени коефициентите. Проведени са измервания на контактен ъгъл на CaCO_3 , полиран двустранно и паралелно, с диаметър 25 mm и дебелина 5 mm.

Анализирани са спектри, получени от измервания на проби от калиево-алуминиев силикат $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$, при който понякога алуминият е заместен с хром или манган, с максимално двойно лъчепречупване $\delta = 0.035 - 0.042$. Разгледани са и спектри на $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ на две проби в MIR диапазона на спектъра са изследвани образци във вид на двустранно полирани пластини от $\text{Ca}_2\text{MgAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{11}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с диаметър 25 mm и дебелина 5 mm с цел интерпретация на спектрите. Пробите са измерени и с поляризационен микроскоп Amplival Pol D с камера AxioCam 208 color (Zeiss) и с Раманов спектрометър. В ИМК „Иван Костов“ пробите пумпелиит са измерени с Рентгенов дифрактометър – XRD и с инфрачервен спектрометър с ATR приставка.

Получените резултати показват съдържание на самородна мед, желязо, алуминий, епидот, кварц и др. Асоциират заедно с $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ - Zoisite (цоизит); $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$ - Glaucophane (Глаукофан) и CuFeS_2 - Chalkopyrite (халкопирит). Проведени са измервания на твърди и прахови проби от $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Получени са спектри от измервания:

- в режим на пропускане и отражение на пластинки полирани аншлифи;
- спектри, получени с ATR приставка и с приставка за дифузно отражение;
- спектри, получени с интегрираща сфера и локални спектри в микроразмерни области чрез използване на ИЧ микроскоп в близкия и средния инфрачервен диапазон на спектъра, понеже до този момент не са изследвани спектралните характеристики на $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ от България, Западно Средногорие.

Данните са сравнени с база данни RUFF. Подготвена е публикация на тема „Infrared spectra of $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})$ from Western Srednogorie“.

Направление „ЛАЗЕРНА ФИЗИКА И ФИЗИКА НА АТОМИТЕ, МОЛЕКУЛИТЕ И ПЛАЗМАТА“

Разработена е и е изследвана нова значително подобрена лазерна система генератор–усилвател, генерираща дифракционно ограничено лазерно лъчение ($M^2 \approx 1$) на атомните линии на медта 510.6 nm и 578.2 nm с две различни продължителности на лазерния импулс и средна изходна мощност от няколко десетки Watts до 50 W. Като генератор (МО – съкратено от Master Oscillator) са използвани лазерна тръба с малка апертура (4 mm) с медни (Cu) пари и лазерна тръба с пари на меден бромид (CuBr), работещи с неустойчив резонатор от отрицателния клон. Две газоразрядни тръби с CuBr

пари и значително увеличен активен обем са използвани като усилвател (РА – съкратено от Power Amplifier), за да се увеличат съществено изходните лазерни характеристики. Реализирани са различни конфигурации на лазерните системи, а именно еднопроходен и двупроходен PAs, съгласуващи телескопи с различно увеличение M . Получено е лазерно лъчение с рекордно високи средна лазерна мощност и качество. Осъществена е прецизна микрообработка на силиций (Si). Използвайки асферична леща с фокусно разстояние 2 cm за фокусиране на лазерното лъчение, са преодоляни сферичните aberации и са достигнати диаметър на кратера и ширина на канала от около 1 μm . Реализирано е също така микрорязане на Si образци с многоконтурен трепънинг (trepanning) и уоблинг (wobbling). С нова високотемпературна тръба с Cu пари с диаметър 2 mm, дължина 12 cm и обем 0.377 cm³ на активната зона е получена средна изходна мощност от 0.975 W, т. е. достигната е рекордно висока специфична средна лазерна мощност от 2.6 W/cm³ за лазерите, генериращи на атомните Cu самоограничени преходи от всякакъв тип. Въпреки че увеличението е 30 % в сравнение с предишния най-висок резултат от 2.0 W/cm³, получената енергия на лазерния импулс 123 $\mu\text{J}/\text{cm}^3$ от единица обем е 3.7 пъти по-висока от най-високата стойност достигната досега. За първи път в света с плосък-плосък устойчив резонатор е получено дифракционно ограничено лазерно лъчение на самоограничени преходи на метал.

Чрез фокусиране на лазерно лъчение с фемтосекундна продължителност на лазерните импулси е осъществено ускорение и забавяне на неутрални частици (атоми, молекули и микрочастици), като ефектът е потвърден с отлагане на слой от частиците (магнезиеви атоми) върху кварцова подложка в атмосфера от неон при ниско налягане. Определени са нелинейния показател на пречупване (n_2) и многофотонния коефициент на поглъщане (β) на прозрачни биосъвместими полимери, нанесени върху кварцови пластини, чрез модифициран z-scan метод, като лазерното лъчение на 35-fs Ti:sapphire лазер с дължина на вълната 800 nm и честота на повторение на лазерните импулси 1 KHz е фокусирано с оптична леща с фокусно разстояние 25 cm.

Чрез лазерно индуцирана плазмена спектроскопия (LIBS) и рентгенова флуоресцентна спектроскопия (XRF) е проведен анализ на общо 60 бронзови артефакта от праисторическото селище Балеи най-голямото от второто хилядолетие пр.н.е. в района на Долен Дунав, Археологическите находки са разкрити от три нива, обхващащи периода от 15 век пр.н.е. до първата половина на 11 век пр.н.е. Получената аналитична информация е използвана за количествено определяне на калай, олово и арсен, които определят механичните свойства на сплавта и технологията на производство. Изследваните предмети са изработени от калаен бронз, чието съдържание попада в рамките на характерните граници от късната бронзова епоха. Има няколко изключения с много високи концентрации на калай. Всички те са декорации и бижута, което може да подсказва, че е имало високо съдържание на калай използвани за получаване на определено оцветяване. Съдържанието на арсен е минимално (с изключение на един предмет, което предполага, че произлиза от рудата и не е добавено умишлено. Въз основа на данните за елементното съдържание извършен хеометричен статистически анализ (Principal Component Analysis-PCA) за класифициране и разделяне на пробите в отделни групи според датирането на производството. Групирането на проби от ниво II в сравнение с проби от ниво III е показателно за процеса на оптимизиране съдържание на калай и олово, както и възможни различни източници на суровина.

Проведен е спектроскопичен анализ на червени и кафяви пигменти, използвани за украса върху 22 фрагмента от раннонеолитна керамика от селището Бухово и Гълъбник, Западна България. Прилагат се две допълващи се аналитични техники – лазерно индуцирана пробивна спектроскопия (LIBS) и инфрачервена спектроскопия с трансформация на Фурие (FTIR за получаване на информация за елементното и минерално

съдържание на декорациите. Данните получени от LIBS са обработени чрез приложаване на многовариантен статистически метод Principal Component Analysis (PCA) с цел класифициране на обектите според елементния състав на декорациите. Резултатите показват, че изследваните фрагменти са разделени главно в две групи – обогатени с желязо и обогатени с манган. Резултатите, получени чрез LIBS анализ, бяха допълнени и потвърдени от резултатите от FTIR анализа. Резултатите от FTIR показват, че в червените декорации цветът се дължи главно на наличието на хематит. Кафяво/черното оцветяване в повечето от фрагментите се дължи на наличието на смес от хематит, магнетит и манганови оксиди, с изключение на фрагмент P17, за който кафяво/черният цвят се дължи изцяло на присъствието на манганови оксиди. Въз основа на тези резултати е направена връзка между минералното съдържание на пигментите и различните цветове на декорациите.

Започнаха изследвания върху определяне на минералния състав на бели пигменти, използвани при украсата на керамика от ранния и късния неолит от археологическите обекти Маджерито, Калояновец и Хаджидимитрово, разположени в Тракийската низина, Централна Южна България. Тези обекти се свързват с културните групи Караново I и IV. Резултатите получени до момента показват, че основната суровина, използвана за бяла декорация през целия период, е калцит, обогатен с различни пълнители и носители, включително кварц, глини, фелдшпати и метални оксиди. Талкът е идентифициран като добавка към калцита в боята на два раннонеолитни фрагмента, а също наличие на хидроксиапатит и каолинит в керамики от късния неолит. В този микрорегион, където една единствена рецепта за приготвяне на бяла боя е запазена за продължителен период, вероятно с използване на едно находище. Наличието на друг тип минерален състав предполага добавянето или използването на други съставки като талк и апатит разкрива нови тенденции в производството и връзки с други културни групи.

В областта на квантовата оптика и започна работа по конструиране на устройство за контролирано управление на изменението на поляризацията на светлина. Устройството е изградено по аналогия на техниката на композитните импулси и дава възможност за създаване на конкретно поляризационно състояние на изхода. Удобството на едно такова устройство се съдържа във възможността то да работи и като ротатор, и като произволна вълнова пластина. Устройството дава възможност да се комбинират и двата режима и се настройва според търсеното изходно поляризационно състояние т.е. нуждите за конкретния експеримент.

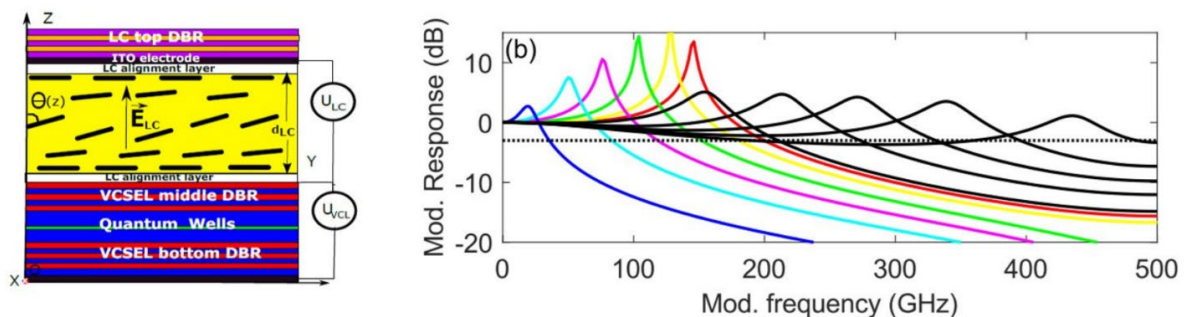
Предложен е метод за конструиране на композитни двукубитови гейтове с теснолентови профили по отношение на спин-спиновото свързване. Композитните последователности са селективни към вариациите в амплитудата и продължителността на спин-спиновото свързване и могат да се използват за адресиране на кубити със силно намалено кръстосано смущаване в квантовата логическа спектроскопия.

2.1. Най-значимо научно постижение

Тема: Спин-ВИКСЕЛ с течен кристал за електро-оптично контролирано двоелъчепречупване

Колектив: проф. дфн Красимир Панайотов, проф. дфн Минко Петров, проф. дфн Йордан Маринов

Интернет технологиите са навлезли в живота на почти всички хора и неразделна част от тях е светлината: много често при предаване на информация светлината е нейния носител. Това е така защото светлината позволява да се запише огромно количество информация. Това е възможно благодарение на ефективни лазерни източници на светлина, които излъчват кохерентна светлина, т.е. светлина с точно определен цвят и много малка разходимост на лъча. Разработени са също и устройства, които да позволяват преноса на информация от електрически сигнал към светлинния такъв, т.н. модулатори. Най-ефективния подход е функцията на модулятора да се поеме от светлинния източник, което се използва на практика при полупроводниковите лазери. Те се наричат също лазерни диоди и генерират светлина чрез течащ електрически ток и именно неговата промяна служи за модулация на сигнала. Тяхната широка употреба се дължи на малките им размери, дълъг живот, ниска консумация на енергия и масово производство.



Фиг. 1. Ляво: ВИКСЕЛ с два свързани резонатора: активен с квантови ями и електро-оптичен с течен кристал. Електрично поле е приложено към ТК в посоката в която се разпространява светлината ($E_{LC} \parallel Oz$). Планарната ориентация на ТК молекули близо до границите по посоката на Оу оста е осъществена чрез фоточувствителни слоеве. Дясно: Модулационни характеристики на ТК-ВИКСЕЛ при различни напрежения върху ТК, които променят драстично максималната честота на модулация.

В тази работа демонстрираме начин да се увеличи драстично скоростта с която лазерните диоди могат да предават информация. За целта разглеждаме т.н. ВИКСЕЛ-и, т.е. полупроводникови лазери с вертикален резонатор и излъчване от повърхността на активната среда от квантови ями. Предложихме и проектирахме нова конструкция на ВИКСЕЛ с вграден нематичен течен кристал (ТК) във втори резонатор (Фиг. 1 ляво). Разработихме и математичен модел за пресмятане на динамичните му характеристики и демонстрирахме, че такъв ТК-ВИКСЕЛ може да достигне многократно по-големи скорости на предаване на информация. Както се вижда от Фиг. 1 (дясно), чрез регулиране на електричното напрежение върху течния кристал ТК-ВИКСЕЛите могат да достигнат честоти на модулация на малък сигнал с 3-dB честота от няколко стотин GHz. За сравнение, типични честоти на модулация на комерсиалните ВИКСЕЛ-и са от порядъка на 10-15 GHz.

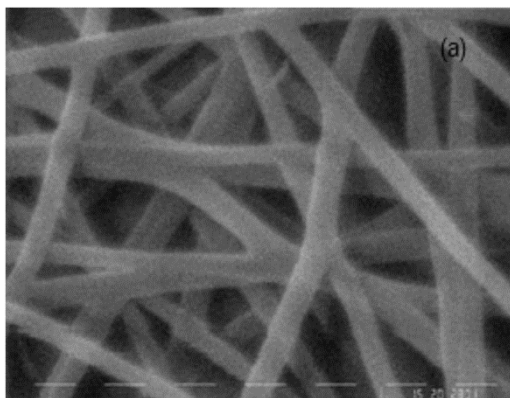
K. Panajotov, M. Petrov, Y. Marinov, "Liquid-Crystal Spin-VCSEL with Electro-Optically Controllable Birefringence", Photonics, 10, 179, 2023.2.2.

2.2 Най-значимо научноприложно постижение

Тема: Нов комбиниран подход за получаване на метало-оксидни нановлакна с електроовлажняване и атомно послойно отлагане

Колектив с ръководител доц. д-р Благой Благоев

Предложен е нов подход за получаване на двуслойни коаксиални кухи влакна чрез комбиниране на методите на електроовлажняване и атомно послойно отлагане (ALD). Първоначално, влакна от поливинил алкохол (PVA) са получени, чрез електроовлажняване и впоследствие се покриват с тънък слой от Al_2O_3 (ALO), чрез ниско-температурно ALD. За изгаряне на PVA сърцевината, влакнестите структури се подлагат на високотемпературно отгряване. Така образуваните кухи влакна се покриват със нанослой ZnO, получен чрез термично ALD при температура в ALD прозореца на ZnO. Тази процедура ни позволява да получим ZnO слоеве с по-добра кристалност и стехиометрия. След оптимизация и разработване на технологичния режим успешно бяха получени субмикронни ZnO(170nm)/ALO(23nm) кухи влакна с диаметър на вътрешната кухина 512 nm върху стъклени подложки. За сравнение, досега в комбинираните електроовлажняване/ALD методи за получаване на двуслойни/многослойни влакнести структури се използва един in-situ ALD процес за всички слоеве. Това прави процеса по-евтин, но при изгарянето на полимера качеството на горните слоеве се влошава. При комерсиалния технологичен режим, при изгаряне на полимера, кристалитите на горните слоеве могат да се дезориентират. Поради различните коефициенти на дифузия в съседни слоеве от метални оксиди, се осъществява ефектът на Kirkendall – по време на отгряване на ZnO/ALO/PVA влакната започва дифузия на кислородни ваканции от ALO към ZnO и се образуват микро кухини, което води до разрушаване на микровлакнестата морфология. При стандартния процес за получаване на структури от кухи коаксиални влакна, всички слоеве на структурата се отлагат при ниска температура. Това е необходимо за защита на полимера от разграждане и обикновено е доста под температурния прозорец на ALD за съответния материал и води до отлагане на слоеве с лошо качество. Предложеният метод осигурява отлагането на всеки слой в неговия собствен ALD прозорец. В нашия ex-situ ALD процес, изгарянето и дифузията на полимерите става само през аморфния ALO слой. Тази технология, макар и по-сложна от предложените по-рано, допринася за



СЕМ изображение на получените Al_2O_3 нановлакна (увеличение x1000)

получаването на кухи влакна с по-добро качество. Получените 3D наноструктури от кухи коаксиални влакна, в зависимост от използваните материали, имат потенциал в различни приложения, като нано- и био- сензори, фотоника, електроника, интелигентен текстил, катализа, фармацевтика и много други.

Blagoev, B., Georgieva, B., Starbova, K., Starbov, N., Avramova, I., Buchkov, K., Tzvetkov, P., Stoykov, R., Terziyska, P., Delibaltov, D., Mehandzhiev, V., Paskaleva, A. A Novel Approach to Obtaining Metal Oxide HAR Nanostructures by Electrospinning and ALD. Materials, 16, 23, MDPI, 2023, DOI:10.3390/ma16237489, 7489, IF: 3.4, Q2 (WoS)



3. МЕЖДУНАРОДНО НАУЧНО СЪТРУДНИЧЕСТВО НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2023 Г.

През 2023 г. Институтът продължава активно сътрудничество с университети, лаборатории и академични организации от целия свят. Международните партньорства и дейности са неотменна част от научната дейност: 35 публикации от общо 102 излезли от печат през 2023 г. са в съавторство с чуждестранни учени в колаборация с многонационални авторски колективи от 38 държави от 5 континента.

ИФТТ взема дейно участие в проекти за изграждане на научни мрежи в Европа, в рамките програмата COST под ръководството на доц. Е. Йорданова и проф. Д. Димитров, също и ERA-NET с ръководител проф. Д. Димитров.

През 2023 г. успешно се реализират няколко проекта към ФНИ за провеждане на съвместни изследвания в областта на нови материали, нанотехнологии и биомедицински приложения с изследователски групи от САЩ, Белгия, Италия, Полша, Испания, Унгария и др.

Традиционно, ИФТТ осъществява дългогодишно сътрудничество по линията на ЕБР и Междуакадемично сътрудничество между БАН и съответните научни организации като през 2023 г. продължава партньорството с Технически университет, Талин, Естония и Център по физика на твърдото тяло и нови материали Институт по физика, Белград, Сърбия. Учени от ИФТТ провеждат и работни визити в рамките на програма „Erasmus”.

През изминалата година се проведе мултидисциплинар научен семинар, в който взеха участие 45 изследователи от 6 страни, бяха включени 8 поканени лектора, 8 устни доклада и 22 постера в тематични направления с важно значение за развитието в България на индустрия с висока добавена стойност. Утвърдени специалисти, млади учени и партньори по проекта „Национален център по мехатроника и чисти технологии“, финансиран от ОП „Наука и образование за интелигентен растеж“, презентираха резултати и дискутираха проблематиката в областите иновативни материали и технологии, лазерни технологии и обработка на материалите, сензорика.

Особен интерес сред участниците в международния научен форум предизвикаха лекциите за материали и механизми за невроморфно изчисление, за енергонезависими флаш памети, развитието на технологии за получаване и техники за анализи на нови материали в нано- и микроскалата и на въглеродни нанотръби, технологии за намаляване на въглеродните емисии и използване на възобновяеми енергийни източници и др.



4. УЧАСТИЕ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО В ПОДГОТОВКАТА НА СПЕЦИАЛИСТИ ПРЕЗ 2023 г.

В научната и проектна дейности на Института са включени млади учени - постдокторанти, докторанти, дипломанти и студенти. Служители от ИФТТ са ръководители, консултанти и преподаватели с активно участие в процеса на подготовка на следващото поколение специалисти от България и чужбина.

През изминалата година успешно приключи пост-докторантски проект със специализант д-р Пурнима Сантош и ръководител проф. д-р Юлия Генова в рамките на Национална научна програма „Петър Берон. Наука и иновации с Европа“.

Двама млади учени развиват възможностите на спектралните техники за научноприложни изследвания в областта на археологията и археометрията, като част от младежките проекти в Направление Физически науки на ФНИ.

Млади учени от ИФТТ участват в Националната програма „Млади учени и постдокторанти – 2“. През изминалата година, продължи работата и приключиха първоначални отчетни етапи по 7 проектни предложения по програмата.

ИФТТ поддържа акредитацията си за обучение в образователната и научна степен „доктор“ по специалности от професионалните направления 4.1. „Физически науки“ по програмите: „Физика на кондензираната материя“ и „Лазерна физика, физика на атомите, молекулите и физика на вълновите процеси“. През 2023 г. в Института се обучават 4-ма докторанти (3 на самостоятелна подготовка и 1 в задочна форма). Новозачислен е един в самостоятелна форма на обучение.

През декември 2023 г. се проведе в гр. Копривница традиционният Зимен семинар „Интердисциплинарна физика“ на докторантите и младите учени от институтите на БАН, организиран от ИФТТ. Темите на лекциите и резюметата на докладите са публикувани в електронен формат. Представените доклади от докторантите и младите учени бяха върху най-актуални теми от областта на микроелектрониката, многофункционални въглеродни покрития, фемтосекундните лазери.

Експерти от ИФТТ са ръководители и консултанти на стажанти, дипломанти и докторанти от академични институции в страната и чужбина: Universidad Nacional de Educacion a Distancia, Испания, Химикотехнологичен и металургичен университет София.

Служители от Института развиват преподавателска дейност в основни и специализирани курсове. Специалисти в съответните научни области провеждат лекционно обучение по бакалавърски, магистърски и докторантски програми в следните висши училища и академични центрове: Universidad Nacional de Educacion a Distancia.

Учените от ИФТТ предоставят специализирани курсове към Центъра за обучение към БАН: Получаване на нано-размерни слоеве и структури за приложение в нано-електрониката, спинтрониката, оптоелектрониката, сензориката и биофизиката, течнокристален подход във физиката на живата материя; взаимодействие на лазерното лъчение с веществото; компютърно моделиране на комплексни системи; увод в теорията на фазовите преходи; свръхпроводимост; Експериментални методи в атомната физика; видове и свойства на газовите разряди, използвани в лазерите и нелинейни възбуждения в кондензирани среди, както и базовия курс основи на LaTeX.



5. ИНОВАЦИОННА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТ ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО И АНАЛИЗ НА НЕЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ ПРЕЗ 2022 Г.

5.1 Осъществяване на съвместна иновационна дейност с външни организации и партньори

ИФТТ има многобройни патенти и научноприложни разработки. Представени са нови проектни предложения съвместно с фирми в рамките на Програмата за устойчивост и развитие. Изпълняват се научноприложни договори, възложени от фирми от страната и чужбина съвместно с партньорски организации. Разработките на Института включват иновативни технологични решения, част от които вече са внедрени и имат индустриална реализация.

През изминалата 2023 г. продължава работата по проект на тема „Изследване и развитие на иновационно решение за оценка на замърсяване с микропластмаси във водна среда“ в партньорство с „Аква лид“ ООД. Финансирането се извършва от Националния иновационен фонд.

5.2 Извършен трансфер на технологии

В ИФТТ се поддържат общо 23 патента. През 2023 г. няма одобрени патенти, подадени са две нови заявки:

К. Д. Есмерян и Ю. И. Федченко, “Технология за производство на свръхнеомокреми бетонни конструкции”, рег. № 113656 от 15.02.2023 г.

К. Д. Есмерян, Ю. В. Лазаров, Т. Гърков и Ю. И. Федченко, “Метод за оценка на качеството на алкохолни продукти чрез кварцова микровезна”, рег. № 113673 от 08.03.2023 г.

Патентно-иновационната дейност по традиция е една от ключовите дейности за ИФТТ. Тя гарантира запазване на създадената в ИФТТ интелектуална собственост, която е важен потенциал при трансферирането ѝ като технологии към националната промишленост. В изобретателството се включват повече млади хора. Наблюдава се също така разширяване на обхвата на лабораториите, които имат признати изобретения и се появяват нови изобретателски екипи. Похвално е сътрудничеството с ИЕ и Институт по механика, БАН в развойната дейност.



6. СТОПАНСКА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО И АНАЛИЗ НА НЕЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ ПРЕЗ 2023 г.

Съвместна стопанска дейност:

ИФТТ няма договори за съвместна стопанска дейност.

Отдаване под наем

Продължи отдаването под наем на помещения и терени на фирми, както следва:

1. “Каффа ойл” ЕООД
2. “АПЛАЙ” ЕООД
3. „Вертех“ ЕООД
4. “БУЛРЕНТАЛ” ЕООД -2договора
5. "БУЛПОД" ООД
6. “ГИТАВА” ООД
7. “НАТИ-75” ЕООД
8. “ДИНО АРТ” ЕТ
9. Мирослав Гергинов
10. “АСКИ ” ЕООД
11. Интересно БГ
12. “Михаил Янков” ЕТ-2 договора
13. Никола Байнов
14. “НИК ТРЕЙД 12” ЕООД
15. МИХАИЛ НИКОЛОВ
16. “ПУЛСЛАЙТ” ООД
17. “Без паника” ЕООД
18. Радослав Сашев Иванов
19. “СКАЙ ПРИНТ ООД
20. Стоян Нешев
21. „Дива 2009“ ЕООД
22. „Гопал Прасад“ 4 договора
23. Теодор Станоев
24. БФМ ЕООД
25. ЕПО ЛУКС ООД
26. Бултрейдинг консулт ЕООД
27. “ЧЕНТИ СПОРТ” ООД
28. Семра Дургут
29. Симпекс ди
30. Симеон Каменов



7. КРАТЪК АНАЛИЗ НА ФИНАНСОВОТО СЪСТОЯНИЕ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ЗА 2023 Г.

Институтът се финансира от бюджета и със собствени средства. Приходите са както следва: от бюджетната субсидия – **4 275 179 лв.**, собствени средства **243 536 лв.**, трансфери от ФНИ – **1 042 827,44 лв.**, вътрешни трансфери получени – **160 082,59 лв.** и трансфер към БАН за отчисления от наемни договори – **84 695,20 лв.**

Разходите са 5 596 026 лв. както следва:

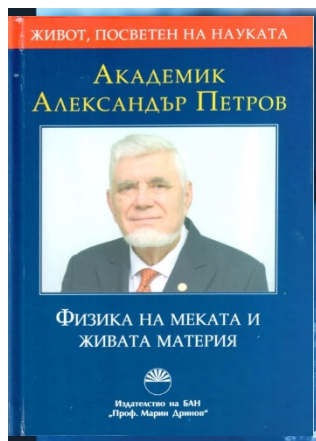
01 Заплати	2 998 730 лв.
02 Други възнаграждения	415 275 лв.
05 Осиг. вноски работодател	516 340 лв.
10 Издръжка НИР, охрана, командировки, раб.облекло, м-ли, външни у-ги, тек.ремонти, вода, парно, телефони, ел.е-я/	985 337 лв.
19 Платени данъци и такси	6 976 лв.
43 Субсидии и др.трансфери	-8 лв.
52 ДМА и НДМА	673 376 лв.

Списъчният състав на Института е с планова численост от **183 щатни бройки**

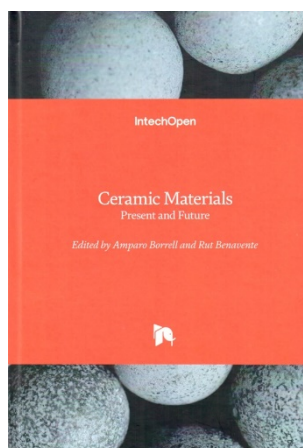
Договорите за отдаване под наем са тристранни - наемател, ИФТТ и БАН. От тях се превеждат дължимите данъци и остатъка се разпределя между БАН и ИФТТ по **84 695,20 лв.**

Транспортните средства са 3 на брой.

8. ИЗДАТЕЛСКА И ИНФОРМАЦИОННА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2023 Г.



През 2023 г. и по случай 75-годишния юбилей на акад. Александър Петров, дългогодишен директор на ИФТТ и изтъкнат учен в областта на физиката на кондензираната материя, беше издадена книгата озаглавена „Физика на меката и живата материя. Академик Александър Петров“, поредица „Живот, посветен на науката“, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, гр. София, ISBN 978-619-245-290-2, съставител: доц. д-р Ангелина Стоянова-Иванова.



През изминалата година беше публикувана глава от книга на тема „Изследвания върху многофункционални керамични материали за тяхното приложение“, с първи автор доц. д-р Ангелина Стоянова-Иванова, като част от изданието “Ceramic Materials - Present and Future” на издателство IntechOpen.



Беше издадена книгата на доц. д-р Елена Назрова посветена на дългогодишната научната дейност и постижения на лаб. Ниски температури. Книгата съдържа спомени на научния колектив, личен поглед върху изследванията в областта на Свръхпроводимостта и Нискотемпературната физика през годините. Изданието е посветено на колегите от лаб. Нискотемпературна физика и тяхната отдаденост на науката.



ИФТТ В МЕДИИТЕ ПРЕЗ 2023 г.

През 2023 г. медиите са привлечени от значимите научни постижения в Института по физика на твърдото тяло като фотоелектретно състояние на веществото и създаденият лазер с пари на меден бромид, който се използва в медицината по целия свят (<https://mediabricks.bg>, <https://telegraph.bg>, <https://trafficnews.bg/>, <https://novini247.com/>, <https://www.standartnews.com/>, <https://dnes.dir.bg/>). Статиите в интернет базираните медии са видяни над 4800 пъти.

Учените от ИФТТ са публикували 5 научно-популярни статии, като една от тях се състои от 3 части. Кабинетът на акад. Георги Наджаков, обявен през 2014 г. за историческо място на Европа, е отворен за посетители всеки работен ден след предварително договаряне. Експозицията е обогатена с нови уникални снимки, дарение от семейството на българския учен, за когото медиите много често използват изразите „дядото на ксерокса“ и „патриархът на българската физика“.

Информационната система на ИФТТ

През изминалата 2023 г. по отношение на информационната система, ИФТТ продължава да поддържа самостоятелно следните услуги: DNS, DHCP, MAIL, WEB hosting, file servers за администрацията, счетоводен отдел и др. Периодично през годината се обновяват версиите на счетоводните софтуерни програми Omeks 2000 и заедно с представителите на фирмата, която поддържа софтуера Скипър, е извършена настройка за периодични съхранявания на информацията на предвидения за това сървър.

Предприемат се и рутинни дейности по поддържането на уебсайта на института, който предоставя информация относно научната дейност, проекти, научни форуми, обявените процедури и конкурси за израстване на академичния състав.

Награди и отличия

През 2023 г. учени от ИФТТ бяха отличени за своите научни постижения със следните награди:

Награда за 1-во място на Огнян Петков в конкурс за млади учени на тема „Най-добро научно постижение“ от участие на Национална научна конференция „Физика, инженерство, технологии“ с международно участие с доклад на английски език на тема “Comparative studies of melittin-induced alterations in surface electrical charge of erythrocyte and mitochondrial membranes” с автори Виржиния Долчинкова, **Огнян Петков**, Милена Шкодрова, **Ангелина Стоянова-Иванова** и **Виктория Виткова**.

Четвърта младежка научна сесия „Биомедицина и качество на живот“, 5–6 декември 2023: Най-добро устно представяне на **Poornima Santhosh** на работата Doxorubicin loaded thermostable nanoarchaeosomes: A next-generation drug carrier for breast cancer therapeutics с автори Kaviya Vijayalakshmi Babunagappan, Abirami Seetharaman, Subastri Ariraman, **Poornima Budime Santhosh**, **Julia Genova**, Natasa Poklar Ulrih, Swathi Sudhakar.

През изминалата година признание получи проф. дфн Красимир Панайотов. Неговият цялостен научен принос бе отбелязан в престижната международна класация на



Станфордския университет за най-изтъкнатите учени в света. Доц. д-р Карекин Есмерян също беше класиран в първите 2% на учените от цял свят с основен принос за развитие на световната наука през 2022 г., съгласно ежегодната класация на Станфордския университет.

През 2023 г. проф. дфн Елена Атанасова и проф. дфн Марин Господинов, учени със световно признание, бяха удостоени със званието почетен член на ИФТТ.



9. ИНФОРМАЦИЯ ЗА НАУЧНИЯ СЪВЕТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2023 г.

9. 1 Списъчен състав на Научния съвет на ИФТТ към декември 2023

Председател: доц. д-р Екатерина ЙОРДАНОВА
Заместник председател – проф. дфн Йордан МАРИНОВ
Научен секретар – доц. д-р Бойко Павлов КАТРАНЧЕВ
Технически секретар:
гл. ас д-р Василка СТЕФЛКОВА (24 месеца),
доц. д-р Любомир СТОЙЧЕВ (10 месеца),
гл.ас. д-р Вани ТАНКОВА (3 месеца)

Членове:

проф. дфн Хассан	ШАМАТИ
проф. дфн Албена Паскалева	ДОНЧЕВА
проф. д-р Виктория Виткова	ВИТКОВА
проф. д-р Юлия Любомирова	ГЕНОВА
проф. д-р Петър Методиев	РАФАИЛОВ
проф. д-р Красимир Ангелов	ТЕМЕЛКОВ
доц. д-р Ирина Елкова	БИНЕВА
доц. д-р Благой Спасов	БЛАГОЕВ
доц. д-р Карекин Дикран	ЕСМЕРЯН
доц. д-р Валентин Иванов	МИХАЙЛОВ
доц. д-р Ангелина Колева	СТОЯНОВА-ИВАНОВА
доц. д-р Тихомир Колев	ТЕНЕВ

9. 2 Дата на избиране на Съвета и сведения за промени в състава му след избора

След изтичане на редовния 4 годишен мандат на предходния Научният Съвет (НС) на ИФТТ-БАН след тайно гласуване на 05.02.2020 г. от Общото събрание на учените на ИФТТ-БАН бе избран действащия понастоящем НС. Първоначалният състав на НС бе 18 членове, от които 2 професори дфн, 1 професор д-р и 15 доценти д-ри. След проведени избори през 2024 г. съставът на НС се промени на 3 професори дфн, 6 професори д-р и 8 доценти д-ри.

Почетните членове на ИФТТ – БАН са почетни членове на Научния съвет, без участие в гласуването. През тази година единодушно беше решено те да имат равен с редовните членове достъп до материалите за заседанията на Научния съвет.

10. ПРАВИЛНИК ЗА РАБОТАТА НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО