

# 1. ПРОБЛЕМАТИКА НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО

**1.1. Преглед на изпълнението на целите /стратегическа и оперативни/ и оценка на постигнатите резултати в съответствие с мисията и приоритетите на ИФТТ, утвърдени от ОС на БАН през 2010 г.**

**Мисията** на Института е: Получаване на фундаментални знания по физика на кондензираната материя, оптиката, спектроскопията и лазерната физика: приложението им за създаване на нови материали, устройства и аналитични методи за микро- и нанотехнологиите, както и за нови подходи в интердисциплинарни области на физиката с биологията, екологията, медицината, археологията; трансфер на получените резултати към икономиката на България.

Обучават се и се подготвят високо квалифицирани млади учени в тези области, с цел съхраняване на научния потенциал на страната и осигуряване на пълноценното й участие във високотехнологичното развитие на Европейския съюз.

В ИФТТ се развиват следните направления: *теория, физика на материалите, нанофизика, микро- и акустоелектроника, нискотемпературна физика, физическа оптика и оптически методи, физика на меката материя и лазерна физика и физика на атомите, молекулите и плазмата.*

Научната проблематика на Института е насочена към създаване и изследване на нови материали с приложение в нелинейната оптика (средни за холографски запис на информация), електронната индустрия, детектори на ядрени и гама лъчи, магнитен запис на информация, структурни изследвания чрез рентгенова, неутронна и електронна дифракция, изследвания в областта на физиката на биоматериалите (покрития на импланти, обемен материал за възстановяване на дефекти или счупвания на костта, и др.), нови енергийни източници и екология.

Изследванията в областта на наноматериалите и новите материали са приоритетно направление в европейските научни изследвания и в изследванията в България. Те са отбелязани и като приоритет в стратегията на БАН.

**1.2. Връзка с политиките и програмите от приетите от ОС на БАН на 23.03.2009 г. “Стратегически направления и приоритети на БАН през периода 2009-2013 г.”**

Приоритетните направления за Института са: **Физика на материалите, Нанофизика, Физика на меката материя, Микро- и акустоелектроника**

Тези изследвания са свързани основно с Програмите 2.1: Технологично развитие и иновации, 2.3: Качество на живота и интердисциплинарни изследвания на човека и живата природа, 2.4: Развитие на информационното общество, 2.5: Енергийни източници и енергийна ефективност, както и с Програмите 1.2: Устойчиво развитие, рационално и ефективно използване на природните ресурси, 1.3: Конкурентоспособност на българската икономика и на научния иновационен капацитет и 1.5: Информационно, експертно и оперативно обслужване на българската държава и общество от “Стратегическите направления и приоритети на БАН през периода 2009-2013 г.”. Новите интердисциплинарни направления, които се развиват имат отношение и към Програмите 1.4: Човешки и научен потенциал за икономика и общество, базирани на знания, 2.6: Сигурност на държавата и обществото, 3.2: Историята на българските земи, България и българите.

**1.3. Извършвани дейности във връзка с точка 1.2.**

Всички дейности и научни изследвания на ИФТТ са свързани с 1.2.

#### **1.4. Полза / ефект за обществото от извършваните дейности по точка 1.3.**

Провежданите изследвания и получени резултати са важни както от гледна точка на екологията на страната и безопасността на хората (сензори и детектори на йонизиращи лъчения), така и от гледна точка на подобряване на качеството на живот на населението чрез подпомагане на създаването на продукти с по-високо качество (по-надеждни и компактни постоянни паметни, твърди тънкослойни покрития, нови активни и пасивни слоеве в електронни и фотонни прибори и т.н.).

Изследваните от нас течни кристали, както и техните разновидности включващи наноструктурирани и полимернодиспергирани композити са сред най-модерните нови материали. Техните уникални свойства биха могли да намерят приложение за разработването и усъвършенстването на съвременни устройства за оптоелектрониката и информационните технологии. Те са ключ към енергоспестяващите и мобилните технологии, конверсията на енергията, неразрушаващия анализ и контрол в реално време на технологични процеси в хранително-вкусовата промишленост и др.

Учените от ИФТТ взеха активно участие в провеждането на Втория национален конгрес по физически науки (25-29 септ. 2013, София), като представиха 8 пленарни доклада и 59 устни доклада и постери.

#### **1.5. Взаимоотношения с институции**

Като водещ физически институт в България, ИФТТ има традиции в консултантската и експертна дейност на национално ниво. Институтът разполага с възможности за извършване на високочувствителен количествен анализ на примеси в материали за електрониката, оптоелектрониката, полупроводниковата техника и молекулната електроника, а също и с чувствителни методи за идентифициране на субмикроскопични твърди частици в атмосферата. Лабораторията по атомна спектроскопия има възможност за експертна и методическа помощ при метрологични и медицински изследвания с източници на светлина.

Работата в ИФТТ се извършва в сътрудничество с други институти от БАН (Институт по обща и неорганична химия, Институт по електрохимия и енергийни системи, ИЕ, Институт по океанология, НАО Рожен), с висши учебни заведения в страната (ХТМУ-София, Медицински университет, Факултет по дентална медицина, София, Факултет по химия и фармация на СУ, ПУ, ТУ-София) и др.

През последната година започна активна дейност с Регионалните академични центрове, особено с тези в Пловдив и Бургас.

Наши служители участват в редица експертни комисии и съвети от държавно и академично ниво: Постоянна комисия по природни науки към ФНИ, НАОА, Комисията към председателя на АЯР, Национална следствена служба (НСС) към МВР, Съвет по температура към НМИ, Експертен съвет по водите, Национален координационен съвет по Нанотехнологии при БАН, Национален съвет по иновации към Министерство на икономиката и енергетиката.

Утвърдено и разширено е прякото сътрудничеството с високотехнологични фирми и малки предприятия като Фесто, Денима 2001-ООД, Пиезокварц, Пойнт Л, Нано Туул Шоп ООД, ИСМА, Фаблес-ЕООД, БДЖ ЕАД, Пулслайт, Prolife technology, Кеит, ТЕХНОС ООД и други, при което Институтът е допринесъл за повишаване на тяхната конкурентноспособност. Във връзка с научното обслужване на националната индустрия ИФТТ участва в Националната програма за насърчаване на малките и средни предприятия. Провеждат се изследвания и се разработват прототипи по задание на индустриални фирми (фирми ФЕСТО, FASIT, ИСМА и др.), както и съвместни изследователски работи, съгласно Рамкова програма (фирма ФАБЛЕС). Специалисти от Института участват активно в оперативната работа на ИАНМСП-МЕЕ.

Лаборатория „Физика на околната среда” участва в националния приоритет „Околна среда – рационално използване и опазване с оглед устойчивото ѝ развитие” - към Проблемен съвет “Ресурси на неживата природа”. Има сътрудничество по разработване на директиви за качеството на повърхностни води в рамките на ЕС и Министерство на околната среда и водите.

## **1.6. Общонационални и оперативни дейности, обслужващи държавата**

**1.6.1. Практически дейности, свързани с работата на национални правителствени и държавни институции, индустрия, енергетика, околна среда, селско стопанство, национални културни институции и др. /относими към получаваната субсидия/**

Изследванията в Института по физика на твърдото тяло са насочени в области на физиката, чието развитие е съобразено с нуждите и възможностите на България.

- ИФТТ разполага с напълно комплектована технологична линия и измерителна апаратура за реализиране и изследване на масочувствителни кварцови резонатори за сензорно приложение, както и на многофункционални пиезрезонансни микросензори за работа при криогенни температури. Създадена е уникална установка за изследване масочувствителността на различни сензорни системи с тънки чувствителни слоеве по метода на кварцова микровезна (QCM) към различни агресивни газови среди. Разработена е методика за синтез на полимери в тлеещ разряд.
- ИФТТ разполага с малка технологична линия за рутинни микроелектронни операции и изготвяне на структури и сензори на основата на силициева тънкослойна технология, както и с модерно свръхчувствително оборудване за изследване на електрическите и сензорни характеристики на структурите. Технологичната база осигурява съвременни условия за технологични експерименти, разполага със съвременна апаратура за извършване на широк спектър от електрически измервания и разширява възможностите за партньорство с индустрията.
- Разработени са електронномикроскопски методи за изучаване процесите на йонно модифициране на полупроводници и диелектрици при високодозна имплантация с тежки йони за целите на интегрални схеми със свръхвисока степен на интеграция.
- За нуждите на оптоелектрониката се разработват сензори на базата на оптични влакна и световоди, индикатори – чернобели, цветни и такива с памет, бързо превключващи бистабилни устройства на базата на многослойни оптични структури.
- Готови за стопанска реализация са научно-приложните разработки “Динамичен Тягов Интегратор” и “Оптимално разпределение на тягов подвижен състав” за хранване на диспечерското ръководство на движението на влаковете.
- В ИФТТ се разширяват и задълбочават изследванията в областта на физиката на меката материя. Прехвърлянето на идеи и използването на методи от физиката към биофизиката, биологията и медицината определя научното и научно-приложното значение на разработките в това перспективно направление.
- Изследвани са флексоелектрични ефекти в полимер-диспергирани течни кристали с цел приложението им за прецизни термометри, както и за “on-off” алармен детектор при пожар.
- Създават се и се изследват нови материали с приложение в нелинейната оптика (среди за холографски запис на информация), детектори на ядрени и гама лъчи, сцинтилационни детектори и в магнитния запис на информация.
- Изследват се оптичните и структурни свойства на халкогенидни стъкла и слоеве с цел разработването на нови материали за оптоелектрониката, дозиметри, йон-

- селективни детектори, оптични памети и др.
- Разработен и изграден е високоразрешаващ спектрограф към двуметровия телескоп на НАО Рожен.
  - Изграден е Център с уникална апаратура за изследване на физични свойства на материали, повърхности и структури. На базата на два модерни многофункционални прибора - Сканиращ сондов микроскоп (SPM) и единствената в България апаратурата за изследване на физични свойства на материалите (PPMS).
  - Създадена е високотехнологична експериментална апаратура – “магнито-оптичен капан”, в който със система от стабилизирани диодни лазери атомите на изотопите на рубидий ( $^{85}\text{Rb}$  и  $^{87}\text{Rb}$ ) са Доплерово охладени в магнитен капан до температура  $\sim 0.0001\text{ K}$ .
  - За диагностика на археологични артефакти са оборудвани две лаборатории за качествен и количествен спектрален анализ: на базата на лазерно индуцирана плазма (LIBS); и на базата на съчетанието на лазерна аблация и емисионен анализ в кухокатоден разряд (LA-HCD). Експерименталната апаратура се състои от Nd:YAG лазер, оптическа система и регистрация, базирана на оптически многоканален анализатор. Апаратурата е приложима и за изследване на индустриални образци.

**1.6. 2. Проекти, свързани с общонационални и оперативни дейности, обслужващи държавата и обществото, финансирани от национални институции, програми, индустрия и пр.**

ИФТТ разполага с утвърдени вече практически разработки (във вид на прототипи), защитени с патенти и авторски свидетелства и приети от държавни комисии и/или отличени с награди на международни салони за изобретения. Между тях са:

- високомощни лазери с метални пари за прецизна обработка на материали (метали и керамика);
- нови технологии за температурно стабилни и нискошумни микровълнови генератори, акустоелектронни сензори за температура и живачни пари;
- Метал-изолатор-силиций структури, съдържащи силициеви наночастици, които намират приложение в микроелектрониката, като алтернатива на сега използваните постоянни памети с плаващ гейт на базата на поликристален силиций;
- нови технологии за микроелектронни прибори, микроелектронни сензори за алкохол, амоняк, водни пари, както и магниточувствителни сензори за приложение в устройства за четене на магнитен код, някои от които са в процес на внедряване;
- ОРПТ-технологии за получаване на сребърнообвити ленти от нови високо-температурни свръхпроводници, които в момента са в процес на внедряване;
- Тънки слоеве от манганати с перовскитна структура и колосално магнитно-съпротивление за магнитни памети командвани със слаби магнитни полета;
- Устройство за откриване на фалшиви монети;
- Метод за определяне на качеството на вина и други напитки.

**Най-значими проекти финансирани от национални институции и индустрия:**

**1. Явления на захват и тяхното влияние върху дълговремева надеждност на наноразмерни структури метален електрод/high-k диелектрици**

- ръководител доц. д-р Албена Паскалева, ФНИ

**2. Обновяване на технологичното оборудване и апаратура за иновативни научно приложни разработки на многослойни оптични структури**

- координатор: проф. дфн Кирил Благоев,

ОП «Развитие на конкурентноспособността на българската икономика» 2007-2013

## 2. РЕЗУЛТАТИ ОТ НАУЧНАТА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2013 Г.

### ТЕОРИЯ

Направено е подробно описание на критичните явления на липидни мембраните, като представител на биологичната клетка в рамките на опростени моделни системи, описващи фазовите преходи в теорията на магнетизма. Аналогията между двата вида системи позволява по-добро разбиране на фазовото разслояване на биомембраните.

Продължават изследванията в областта на медицинската физика, които включват: мозъчна дейност по време на сън; динамика на мрежи от психологични системи; неравновесни системи със самоорганизираща се критичност; приложение на фазова синхронизация на нелинейни системи за изучаване на кардио-респираторни взаимодействия.

Изследвани са неравновесни фазови преходи посредством ренорм-групови методи, методите на неравновесния потенциал, както и с микроскопски уравнения, описващи динамиката.

Установено е влиянието на топологията и вида на взаимодействието върху свойствата на невронни мрежи, които са организирани в графове с определена топология.

Използвани са методите на статистическата физика за изучаване на социални модели и са изследвани на фазовите диаграми в различни модели на социално взаимодействие.

Проведено е пълно изследване (DMRG) на фазовата диаграма на основен едномерен модел (верижка с алтернативноменящи се спинове променливи ( $S=1$  и  $s=1/2$ ) с тричастични обменни взаимодействия. Освен класическите феромагнитна и феримагнитна фази, диаграмата съдържа множество допълнителни фази с квантувани стойности на магнитния момент (plateau states) и две нови немагнитни фази, едната от които е критична фаза с конформна аномалия (central charge)  $c=2$ , а другата е квазинематична фаза, свързана със  $S$  подсистемата.

Изучено е взаимодействието на дискретни (тесни) тъмни солитони с дефекти в интегрируемия решетъчен модел на Абловиц-Ладик. Разгледани са случаите както на точков дефект в един възел на решетката, така и на нееднородна връзка между два съседни възела. Изследвана е стабилността на аналитичните решения за статични солитони свързани с дефекта и е направено сравнение със стандартното дискретно нелинейно уравнение на Шрьодингер. Изследвано е също разсейването на тъмните солитони от различните видове дефекти. Моделът има важно значение за редица физически системи, особено за случаите, когато елементарните възбуждения удовлетворяват статистиката на Паули.

Изследвана е динамиката на солитони във феромагнитна спинова верижка, като е отчетено обменното взаимодействие с първи и втори съседи. Получени са условията за съществуване и стабилност както на светли, така и на тъмни солитони за произволно вълново число и различни видове анизотропия (във възел и между съседни възли). Сложните зависимости на дисперсията и нелинейните коефициенти водят до възникването на области в зоната на Брилуен, в които достатъчно силно взаимодействие с вторите съседи може да промени типа на солитонното решение (от светъл в тъмен и обратно).

Фазовият преход във феромагнитно състояние на феромагнитния свърхпроводник  $UGe_2$  като функция на налягането показва смяна на рода на фазовия преход. При ниски температури и високо налягане преходът е от първи род, а при налягане от около 1.42 GPa се сменя във втори род. На базата на разложението на Ландау

на свободната енергия до шести порядък по намагнитването се изчислява фазовата диаграма, като се отчита взаимодействието на магнитните и еластични степени на свобода, което представлява механизъм за такава смяна. Предлага се зависимостта на температурата на Кюри от налягането да се описва чрез опростения модел на Стонер и се изчисляват някои термодинамични величини, които могат да бъдат измерени експериментално в прехода от първи род. Резултатите са пратени за печат.

Установена е устойчивостта на втората неунитарна фаза в неконвенционални свръхпроводници с р-сдвояване на електрони, както и са анализирани особеностите на слабия фазов преход от първи род, дължащ се на магнитните флукуации в тези системи.

Явлението на размерна редукция от вида  $3D\ XY - 2D\ XY$  в магнитните свойства на спин-димерни съединения с  $XY$  магнитна анизотропия (като например  $BaCuSi_2O_6$ ) е обяснено чрез механизма на флукуационно взаимодействие между спинове от различни антиферомагнитни подрешетки. От оригиналния дву-подрешетъчен антиферомагнитен модел с фрустрация е изведена ефективна полева теория, която позволява явно установяване на механизма на размерна редукция и последващи адекватни ренорм-групови изследвания на критичните явления в тези системи. Резултатите се подготвят за печат.

## ФИЗИКА НА МАТЕРИАЛИТЕ

Монокристали на релаксорни фeroелектрици от перовскитен тип ( $ABO_3$ ) в системите  $PbScTaO_3$  (PST) и  $PbScNbO_3$  (PSN) бяха изследвани с редица експериментални методи. Проследени са ефектите от заместване на А-йона с лантан, барий и стронций чрез изследване на акустичната емисия при приложено външно електрично поле. Изучена е температурната зависимост на индуцирани от високо налягане структурни преходи в PST и PSN. Оказва се, че в тази зависимост важна роля играе взаимодействието между полярния и антиферодисторсияния порядък близо до температурите на преходите в тези съединения.

Поредицата от фазови преходи в  $PbSc_{0.5}Ta_{0.5}O_3$  и  $PbSc_{0.5}Nb_{0.5}O_3$ , индуцирани от високо налягане, беше подробно изследвана *in situ* с дифракция на синхротронно рентгеново лъчение и Раманова спектроскопия при високо А- и В-легиране с еквивалентни и хетеровалентни катйони до наляганя от 25 GPa. Определени са критичните наляганя на преходите и динамичните свиваемости в различните фази, както и влиянието на легирането върху тях.

С поляризирана Раманова спектроскопия са изследвани фонони и дву-магنونни възбуждания в центъра на зоната на Брилуен в меден метаборат ( $CuB_2O_4$ ). Идентифицирани са повечето Раманово-активни Г-фонони в  $CuB_2O_4$ , а пикът на  $82\text{cm}^{-1}$  е идентифициран като двумагнноно разсейване в подрешетката  $Cu(A)$ . От Рамановите спектри се установява и процес на взаимодействие между съседни атоми в подрешетката  $Cu(A)$  при  $33\text{cm}^{-1}$ , което се потвърждава и от други експерименти.

Орторомбични монокристали на  $DyMnO_3$  са изследвани в магнитни полета до 14 T. Изведена е зависимостта на температурата на подреждане на магнитните моменти на Dy йони от магнитното поле. Оказва се, че парамагнитното поведение се дължи предимно на диспрозиевата подрешетка, докато приносът на мангановата подрешетка играе второстепенна роля.

С поляризирана Раманова спектроскопия и теоретично от първи принципи са изследвани фононните спектри от втори порядък в монокристали от  $CuO$ . Установено е, че само в (zz) спектрите има интензивни ивици на разсейване. Този ефект е обяснен с въвличане на резонансни електронни преходи в тази поляризационна геометрия и с факта, че в нея възбуждащата светлина е поляризирана по протежение на мед-кислородните вериги, които са характерен структурен елемент и на широк клас

високотемпературни свръхпроводници.

Кристали от  $\text{La}_2\text{CoMnO}_6$  легирани с Pb са получени от високо-температурен разтвор и са измерени магнитните им свойства, както и електрическата им проводимост. Установено е, че изследваният кристал има преобладаващо подредена  $\text{Co}^{2+}/\text{Mn}^{4+}$  структура, със статистически равномерно разпределен  $\text{Mn}^{3+}$ , заместващ йоните  $\text{Co}^{2+}$ . Установена е и релаксорен тип температурна зависимост на диелектричната константа с максимум при 180- 210К. Измерванията на постоянно-токовата проводимост показват, че преносът на заряд в областта 180- 350К се определя от прескачане на малки поларони.

Изучено е образуването на въглеродни структури при взаимодействието на силни киселини с органически съединения в хидротермални условия. Установено е, че продуктите не тези реакции са аморфен въглерод, микрокристален графит, нанодиаменти, диаманто-подобен въглерод, диаманти, фулерени  $\text{C}_{60}$  и  $\text{C}_{70}$  и карболайт. В продуктите на мездинните реакции са установени въглеводороди с различен състав, както и ароматни и нафтонови съединения. Предложен е възможен механизъм на образуване на въглеродни съединения с  $sp^2$  хибридизирани връзки в хидротермални условия.

Установено е, че в нанокompозити на основата на течния кристал с водородна връзка 7ОВА и въглеродни нанотръбички се индуцират нови фази с екзотични свойства, нехарактерни за чистия 7ОВА. Новите фази са изследвани и с потвърдени с диференциална сканираща калориметрия и Раманова спектроскопия, с която освен разлики в спектрите на различните фази, се детектира и директно присъствието на нанотръбичките в нанокompозита, както и взаимодействието им с молекулите на течния кристал.

Изследвани са възможностите за получаване на аналитични решения с модифицирания метод на най-простото уравнение при клас нелинейни диференциални уравнения – разширеното уравнение на Кортвег- де Вриз, обобщеното уравнение на Камаса – Холм, и статистически разпределения свързани със случайни флукуации в системи от взаимодействащи си популации.

През годината е работено по подготовка за стартирането на голям европейски проект по тематична област Сигурност на програма Сътрудничество в Седма рамкова програма.

Проучена е възможността за приложение на Surface Photo-Charge Effect за разработка на сензори за вода. Доказано е, че благодарение на силната чувствителност на този ефект от състоянието на интерфейса: твърдо тяло–вода, такива сензори могат да бъдат успешно разработвани.

Изследвани са образци от цимент предоставени от циментов завод „Златна Панега“. Началните резултати показват, че е възможно чрез Surface Photo-Charge Effect да се характеризира доколко цимента е фин и качествен.

Изучени се свойствата на външната кора на студен неакреатиращ магнетар като са използвани последните експериментални данни за атомните маси допълнени с маси пресметнати чрез микроскопичният модел за атомната маса основан на метода на Хартри-Фок-Боголюбов.

Изучен е приносът на движението и деформацията на ядрото към енергията на основното състояние на електронната система на Хелиоподони йони. Използвани са йоните на всички съществуващи изотопи на елементите с  $Z=2-118$ .

Разгледано е взаимодействието на квантова система с две нива с клас от крайни (във времето) импулси. За такива импулси спектралната линия се разширява  $\sim \Omega_0^{1/(n+1)}$  с увеличаване на амплитудата на Раби честотата на прехода  $\Omega_0$ . Показано е, че поради по-слабото разширение на спектралната линия импулсите с форми степени на синус и Гаусовите импулси могат да ускорят манипулирането на кубита в сравнение с

правоъгъните импулси.

Продължено е изучаването на фазовия състав на протонно-обменени вълноводи от литиев танталат, но сега - на базата на ИЧ спектри при отражение и измерване на механичните напрежения в различни слоеве. Показано е, че всяка фаза има свой специфичен спектър на отражение, чиито компоненти при разлагането му имат различен дял в цялостния спектър. Въз основа на фазовия състав са дискутирани големината и вида на механичните напрежения, възникващи в протонирания слой. Идентифицирането на присъстващата фаза в най-горния слой (бидейки най-силно подложен на протонния обмен) дава възможност за определяне на възможните фази, участващи в състава на останалата част от слоя.

Получени са композитни слоеве от хидроксиапатит/нанодиамантени частици (HA/DND) и от полимер/нанодиамантени частици (PPHMDS/DND) върху различни подложки и са изследвани чрез контактен ъгъл, AFM, SEM/EDX, CPM (сканираща интерферометрия), FTIR, Раман спектроскопия в Институтите, с които сътрудничим по линията на ЕБР (Люблянски университет, Словения, УАН-Унгария, ЛАН-Латвия и InEES-Франция).

Изследвана е биологичната активност на нанодиамантени частици и композитните материали с остеобластни и стволови клетки в сътрудничество с ИБФБМИ – БАН. Изследвана е кинетиката на процеса на покриване на повърхността на композитните слоеве с протеин (фибронектин).

## НАНОФИЗИКА

Слоеве от AlN са отложени с импулсно-лазерно изпарение върху силициеви подложки при температура 400°C или 800°C, във вакуум или в азот и при различни налягания (0,1 Pa до 10 Pa). Изследвани са оптичните свойства на слоевете в широк спектрален диапазон от  $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$  до  $350 \text{ cm}^{-1}$ . Чрез моделиране на елипсометрични данни са определени оптичните константи на слоевете. Енергията на забранената зона на слоевете, отложени във вакуум е 6.2 eV, което е в добро съгласие с данните за кристален AlN с хексагонална фаза, а при слоевете отложени в азотна среда тази енергия намалява. Чрез FTIR спектроскопия са идентифицирани фононни модове на Al-N връзки в слоевете. По метода на Беркович е измерена висока твърдост, достигаща 28 GPa, както и висока устойчивост на деформации поради ниския модул на еластичност.

Продължена е работата по теоретично изследване на процеси при тримерни наночастици и зародиши на нова фаза. Определена е вероятността за стълкновение на атоми, адсорбирани върху кристална повърхност, както и честотата на стълкновенията им. Получените резултати имат пряко отношение към процесите, свързани с израстването на кристали и слоеве.

Продължени са изследванията на тънки слоеве от силициев оксид и оксинитрид, формирани върху силициеви подложки, имплантирани с водород с доза  $10^{13} - 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  или с азот с доза от  $10^{16} - 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ . Слоевете са израснати чрез термично отгряване в сух кислород при различни температури. С атомно-силова микроскопия (AFM) е наблюдавана ясно изразена тенденция на нарастване на амплитудните параметри на повърхността при увеличаване на дозата или на температурата окисление (700°C, 750°C, 800°C). Последващото термично окисление изглажда неравностите от имплантацията, като намалява броя и размера на вдлъбнатините на повърхността на SiO<sub>2</sub> слоя. Предположено е, че повърхностната морфология на имплантираната с H<sup>+</sup> Si повърхност улеснява дифузията на кислородните атоми в Si и дори при ниска температура (700°C) води до по-голяма скорост на окисление и по-ниско ниво на структурни напрежения в оксида. В имплантирани с N<sup>+</sup> силициеви подложки, чрез FTIR и IRSE изследвания, е установено образуването на Si наночастици в слоя при синтеза на SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub> при висока



температура (1050°C). Анализът на XPS спектрите потвърди образуването на Si-Si връзки в оксидния слой. Предполагано е, че свободните Si атоми образуват Si наночастици в растящия слой, които поради високата температура могат да кристализират.

Продължени са изследванията на влиянието на облъчване с високоенергетични (MeV) електрони върху свойствата на Si/SiO<sub>2</sub> структури. Установена е ускорена дифузия на кислородните атоми в облъчени Si/SiO<sub>2</sub> структури. Радиационните дефекти в оксида, генерирани от MeV електроните, улесняват движението на кислорода навътре в силициевата подложка и окисляването ѝ, в резултат на което дебелината на оксида нараства. Свободните силициеви атоми от разкъсаните от радиация Si-O връзки могат да кластерират, образувайки Si наночастици в SiO<sub>2</sub>.

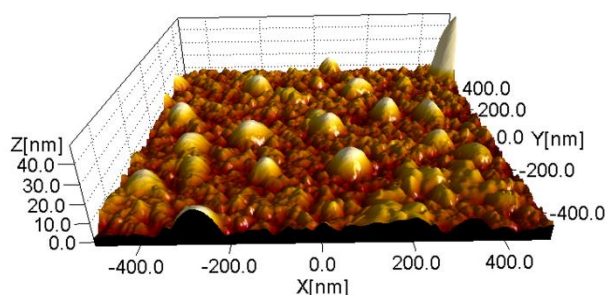
Получени са два типа Метал-Оксид-Силиций (МОС) структури от типа Si/SiO<sub>x</sub>/Al (x = 1.15 и 1.3), които са с ~ 100 nm дебел SiO<sub>x</sub> и е приложен нов тип, двустъпково отгряване на структурите при 1000°C, (първоначално в азотна, а след това в N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> атмосфера). С трансмисионна електронна микроскопия (ТЕМ), инфрачервена спектроскопия и електрични измервания е показано, че в слоя от SiO<sub>x</sub> се формират два подслоя - един, който е по-близо до подложката, съдържащ силициеви нанокристали и върху него втори - хомогенен SiO<sub>2</sub>. Структури от този тип, снабдени с полупрозрачен златен гейтов електрод, са изследвани за приложимост при разработване на дозиметри за ултравиолетово (УВ) лъчение. Показано е, че електричен импулс, приложен към гейта, зарежда нанокристалите в тези структури и създава вътрешно електрично поле. Последващо облъчване с УВ светлина предизвиква разреждане на структурите, като скоростта на разреждане зависи от предварително създаденото вътрешно поле. Получените резултати показват, че е възможно използването на МОС структурите за изработване на дозиметър на УВ лъчение.

Върху тънки нанокристални слоеве от Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>Se с различен състав, отгreti при 200°C и 400°C, са проведени електрични и фотоелектрични измервания в температурния интервал (-196) – (+150)°C. При слоевете, отгreti при 200°C е наблюдавано плавно нарастване на тъмновата проводимост и фотопроводимостта при намаляване на съдържанието на Zn. При слоевете, отгreti при 400°C, обаче, в композиционните промени на двата типа проводимост е наблюдаван дълбок минимум при x = 0.6. Резултатите са дискутирани с отчитане на влиянието на дебелината на подслоеве, изграждащи слоя и е направено заключение, че отгряването при 400°C увеличава плътността на Se ваканции и намалява композиционния безпорядък и плътността на интерфейсните дефекти.

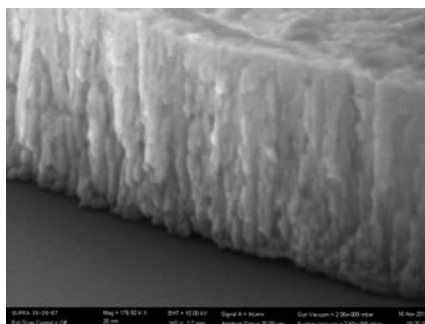
Изследвани са тънки слоеве с различни дебелини (150 - 800 nm) от два състава от системата Ge-Sb-Te, подходящи за елементи на памет. Определени са големината на оптичната забранена зона и показателя на пречупване. Установено е, че отгряването на слоевете при 90°C и 120°C води до слаба промяна на оптичната забранена зона. Проведените електрични измервания на слоевете в планарна геометрия на електродите показват, че слоевете са нискоомни и проводимостта им не зависи от състава. Анализът на инфрачервените спектри на пропускане показва, че коефициентът на поглъщане при фотонни енергии по-малки от 0.5 eV е сравним с този във видимата и ултравиолетовата част на спектъра и трябва да се отчита при обсъждане на резултатите от оптичните и електрични измервания. В сътрудничество с колеги от ФТИ, Санкт Петербург, Русия е изследван ефектът на превключване в слоевете, като е използван нов вариант на измерване на електричните им свойства, при който получените резултати отразяват по-добре връзката между ефекта на памет и електричните параметри.

Синтезирани са нови халкогенидни сплави от системите As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-PbTe-Ag<sub>4</sub>SSe и GeSe<sub>2</sub>-GeTe-SnTe и са очертани областите на стъклообразуване в тях. В бинарните

системи PbTe-Ag<sub>4</sub>SSe и GeTe-SnTe не са получени стъкла. С помощта на визуален и рентгенофазов анализи и AFM е установено, че областта на стъклообразуване в системата As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-PbTe-Ag<sub>4</sub>SSe лежи частично на страните As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-Ag<sub>4</sub>SSe (0 - 25 mol% Ag<sub>4</sub>SSe) и As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-PbTe (50 - 100 mol% As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>), а тази в системата GeSe<sub>2</sub>-GeTe-SnTe – на страните GeSe<sub>2</sub>-GeTe (0 - 58 mol % GeTe) и GeSe<sub>2</sub>-SnTe (25 - 45 mol % SnTe). Изследвани са основните физикохимични свойства на някои стъклообразни фази от системата As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-PbTe-Ag<sub>4</sub>SSe и са определени границите, в които варират температурата на размекване, температурата на кристализация (тя се влияе силно от съдържанието на PbTe в стъклата), температурата на топене и микротвърдостта по Викерс. Плътноста, определена по хидростатичен метод, нараства с повишаване на съдържанието както на Ag<sub>4</sub>SSe, така и на PbTe и е в границите 4.47 - 5.93 g/cm<sup>3</sup>.



Тримерно изображение на повърхността на свеж тънък слой от Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>Se, x = 0.8



Изображение на напречен разрез на тънък слой от Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>Se с x = 0.8, получено със сканираща електронна микроскопия. Наблюдава се колонна структура.

За първи път е изследвано стъклообразуването в нови стъкла от системите Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-PbO-ZnO и Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-PbO-ZnS, както и някои важни от приложна гледна точка физикохимични параметри (температури на разстъкляване и кристализация, коефициент на термично разширение, плътност, микротвърдост, модул на еластичност). При легиране с 0.25, 0.5 and 1.0 mol% ErCl<sub>3</sub> е наблюдавана фотолуминесценция при -269°C и 27°C. При стайна температура са наблюдавани всички 4f-4f радиационни преходи на Er<sup>3+</sup> в областта 600 - 1600 nm.

От композиционните зависимости на нискотемпературна фотолуминесценция (НТФЛ) на Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-GeS<sub>2</sub> стъкла, легирани с високи концентрации на Er<sub>2</sub>S<sub>3</sub> (1.8 - 2.4 мол %) е определен оптимален състав на матрицата, (GeS<sub>2</sub>)<sub>75</sub>(Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>25</sub>, при който се наблюдават едновременно всички 4f-4f радиационни преходи на Er<sup>3+</sup> йони. Установена е връзката между спектрите на емисия и поглъщане като функция от Er концентрация. Изучено е влиянието на легиране с 2.1 и 2.4 mol % Er<sub>2</sub>S<sub>3</sub> и термично отгряване при 100°C и 200°C върху показателя на пречупване и оптичната ширина на забранената зона.

Фотолуминесцентните изследвания са разширени чрез добавяне на As в системата Ge-S-Ga и легиране с Pr, Dy, Nd, Sm и Ho. При състав на матрицата  $\text{Ge}_{25}\text{Ga}_{1.7}\text{As}_{8.3}\text{S}_{65}$  НТФЛ е изявена чрез една широка ФЛ ивица, центрирана при  $\sim 1000$  nm, с намаляващ интензитет при по-силно Er легиране. Този ефект на гасене на ФЛ е обяснен с безизлъчвателен енергиен трансфер от дефектни състояния в матрицата към  $\text{Er}^{3+}$  йони.

### МИКРО- И АКУСТОЕЛЕКТРОНИКА

Изследвани са процесите на електрически пробив и дълговремена надеждност (Weibull разпределенията на времето за електрически пробив при стрес с постоянно напрежение) при различни температури в легирани с Al и Hf слоеве  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  с дебелина 7-8 nm („еквивалентна окисна дебелина“  $< 1$  nm) за приложение в съвременната наноелектроника. Установено е, че легирането подобрява пробивните характеристики и модифицира механизмите на пробив в следствие на неутрализирането от легиращия примес на дълбоките уловки свързани с кислородни ваканции в  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ . Оптимизиран е видът на легиращия елемент и неговата концентрация в слоя за постигане на високи пробивни напрежения, времена и заряд до пробив гарантиращи време на живот на структурата над 10 г. За разлика от чистия  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , където диелектричния пробив се доминира основно от захвата на носители на заряд в съществуващи уловки, в легираните слоеве пробивът се определя от генерацията на нови уловки в резултат на прилагането на електрически стрес и процесите на деградация се описват с перкулационния модел. Направен е изводът, че Weibull статистиката на пробива в high-k слоеве върху Si се определя от три взаимно конкуриращи се процеса: дефекти в изходния слой, дефекти индуцирани от среса и деградацията на интерфейсия слой. В зависимост от условията на стреса, природата на съществуващите в слоя уловки и параметрите на интерфейсия слой може да бъде наблюдавано доминирането на един от тях.

Проведени са комплексни електрически изследвания на MOS кондензатори с активен диелектрик легиран с Hf,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  и сребърен гейтов електрод. Установено е, че използването на гейтов електрод от Ag дава съществено по-ниски токове на утечки и по-високи пробивни напрежения в сравнение с традиционно използваните електродни материали.

Установено е, че методът на atomic layer deposition (ALD) е много подходящ за отлагане на диелектрични слоеве в MIM структури за памети, базирани на ефекта на резистивно превключване (RS). MIM структури с  $\text{TiO}_2$  и  $\text{HfO}_2$ , TiN долен електрод и Pt горен електрод демонстрират стабилен биполярен RS ефект, като отношението на токовете в двете основни резистивни състояния (HRS/LRS) може да достигне 100. Установено е, че  $\text{HfO}_2$  слоеве имат по-ниски токове на утечка, което позволява използване на слоеве със значително по-малка дебелина. Наблюдаван е RS ефект в MIM структури с дебелина на  $\text{HfO}_2$  под 3 nm. Направени са систематични изследвания на ефекта на бариерния  $\text{Al}_2\text{O}_3$  слой върху процесите на резистивно превключване в структури Pt/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ / $\text{TiO}_2$ /TiN. Установено е, че дебелината на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  слой има определяща роля за стабилизиране и усилване процесите на резистивно превключване в тези структури. Параметрите на RS ефекта могат допълнително да се променят и чрез приложения ограничителен ток по време на SET процеса. Структури с дебелина 3-4 nm на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  слой демонстрират устойчиво превключване за  $10^4$  цикъла. Измерванията при високи температури позволиха да се установи механизма на резистивно превключване, а именно движение на кислородни ваканции от  $\text{TiO}_2$  към  $\text{Al}_2\text{O}_3$  по време на SET процеса, които участват във формиране на проводящи области.

Извършени са електрически измервания за изследване механизмите на „полезен“ захват и съхранение на заряда в структури от типа MHOS (metal/high-k dielectric/ $\text{SiO}_2$ /Si). Използвани са различни high-k диелектрични слоеве на основата на

HfO<sub>2</sub>, изготвени чрез PE-ALD (plasma enhanced atomic layer deposition). В част от структурите слоевете HfO<sub>2</sub> са легирани с различни количества Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Изследвано е влиянието на дебелината на диелектричния слой, степента на легиране с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, средата на отгряване и времето на плазмено окисление върху диелектричните и електрични свойства на структурите, както и върху способността им да запаметяват заряд. Резултатите показват, че чрез подходящи отгряващи процеси и легиране може *съществено да се модифицира захвата на токови носители* в HfO<sub>2</sub>, както в посока намаляване на този захват, така и в посока на неговото увеличаване. Слоевете HfO<sub>2</sub>, легирани с по-голямо количество Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> показват увеличен захват и голям прозорец на помнене и от тази гл.г. са много перспективни за приложение в бъдещи генерации *non-volatile memories*, (NVM).

Доразвит е едномерният аналитичен модел, описващ поведението на широкоплощни фотоволтаични елементи (слънчеви батерии) при осветяване. Намерено е разпределението на зарядите напречно на обеднения слой на слънчева батерия и съответно разпределението на електричното поле. Намерено е самосъгласувано електрично поле при зададени параметри време на живот и подвижност на носителите. Това позволява да се симулират I-V характеристиките на слънчеви батерии и да се определи влиянието на всеки един от тези параметри върху КПД на фотоволтаичните клетки.

Проучени са възможностите за изследване на тънки диелектрични слоеве с помощта на повърхностно усилен раманова спектроскопия (SERS), чрез нанасяне на свръхтънък сребърен слой върху повърхността на диелектрика, притежаващ добра адхезионни свойства към повърхността на диелектрика.

Изследвани са с Трансмисионна Електронна Микроскопия (ТЕМ) и Спектрометрична Елипсометрия (SE) гейтови диелектрични слоеве, съдържащи нанокластери. Слоевете са получени чрез термично окисление, последвано от отлагане на SiO<sub>x</sub> слоеве (x=1.15) чрез термично изпарение на SiO във вакуум. Оптимизиран е технологичен процес за формиране на две области в SiO<sub>x</sub> слоя - област без нанокластери близо до горната повърхност и област с нанокластери под нея. Чрез ТЕМ е показано формирането на два слоя – без и със наночастици, разположени един върху друг. Оптичните свойства на многослойните диелектрици са определени от SE измервания с използване на Bruggeman Effective Medium Approximation метод. Потърсена е връзка между промяната в оптичните характеристики на слоевете (показател на пречупване (n) и коефициента на абсорбция (k)) и техните структурни свойства. Получена е и корелация между дебелините на отделните слоеве, получени от ТЕМ и SE.

Част от структурите по гореописаните изследвания са изготвени със съдействието на специалистите от технологичната база на лабораторията. Освен по тези задачи, те участваха активно при пускане на апаратура и обзавеждане на нова технологична база за микротехнологии към Иновационния отдел на Института. В технологичната база бяха изготвени и експериментални образци на специфични микроструктури по предстоящ договор на Иновационния отдел с ЛЕД Микросензор НТ – Русия. Това включва установяване порядъка на технологичните операции и възможността за lift-off структуриране на многослойна структура Cr-Ni-Au върху подложка от Si; установяване на подходящата дебелина на златен слой като контактен слой на микроструктурите и здравината му при бондиране.

В технологичната база се работи и по изготвяне на серия образци за подложки за израстване на графени като първоначални експерименти по проект ИНЕРА 316309. За целта бяха окислени силициеви пластини и върху тях беше нанесен тънък слой никел и тънък слой танталов окис.

Изследвани са процесите на химическо ецване на АТ- срез кварцови подложки в

$(\text{NH}_4)_2 \text{F}_2$ - воден разтвор в температурен интервал  $70^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$ . Повърхностната грапавост на кварцовата повърхност, в резултат на ецването е определяна чрез AFM. Сорбционните свойства на сензорите са изследвани за  $\text{NH}_3$  в концентрационен интервал от 100 ppm до 500 ppm, като за сорбент е използван  $\text{MoO}_3$  с дебелина 200 nm. Измерена е разликата в нагряването на пластините, ецвани при  $70^\circ\text{C}$  и  $75^\circ\text{C}$  от 0.63 nm и промяна на сензорната чувствителност с 6, 9 и 7.5 пъти, за концентрации на  $\text{NH}_3$  -100 ppm, 250 ppm и 500 ppm. Установено е, че ефективната сорбционна повърхност се намалява при температури на ецване от  $75^\circ\text{C}$  до  $90^\circ\text{C}$  вследствие реакционния механизъм.

Изследвана е сорбционната способност на тънки филми  $\text{Ge}_{20}\text{Se}_{80}$  използвани като активни слоеве в кварцовата микровезна за детектиране на  $\text{NO}_2$  в газова среда. Филмите са анализирани чрез Раманова спектроскопия, XPS, AFM преди и след процесите на сорбция. Установено е, че газовите  $\text{NO}_2$  молекули взаимодействат електростатично с халогенидните атоми, което води до частична промяна в структурата на слоя. Сорбираната маса дължаща се на  $\text{NO}_2$  сорбция регистрирана чрез QCM нараства монотонно с увеличаване на дебелината на чувствителния слой и  $\text{NO}_2$  концентрация в газова фаза. Сорбирана маса до 11.4 ng е измерена в 200 nm  $\text{Ge}_{20}\text{Se}_{80}$  слой при 5000 ppm  $\text{NO}_2$  концентрация. Установено е, че процесът на сорбция има необратим характер без допълнително прилагане на енергия. Сравнението между характера и сорбционната способност на филми  $\text{Ge}_{33}\text{Se}_{67}$  и  $\text{Ge}_{20}\text{Se}_{80}$  показват, че те се дефинират основно от x/y съотношение и могат да бъдат променяни чрез неговото изменение.

За първи път е използвана компилация на програмирана термична десорбция с SALDI масспектрометър с въртяща се кръгла повърхност. Създадената апаратурата е приложена за определение наличието на дрога. Тестови анализи са проведени за детекция на лидокаин, пропанол и дифенхидромин. Показано е, че разработеното оборудване дава възможност да се определят фармацевтични продукти за времена от 40 сек. или по-кратки. Тестовите вещества са определени като протонирани молекули със структурно специфична фрагментация. Предложени са схеми на фрагментация. Интервалът за определение на изследваните наркотици са оценени от 0.2 до 0.5 ng/ml. Демонстрирано е, че представената техника е приложима за количествен анализ на течни биологични материали.

Модифицираните повърхностни свойства, като състав, нано грапавост и омокряемост оказват ефект върху най-важните процеси на интерфейса на биоматериалите. Проведени са изследвания на потенциала на адхезия на стволови клетки (MSCs), на морфологията и фенотипни характеристики на оксидно покрити и пластмасови подложки с различни повърхностни параметри. Отлагането на оксидни покрития на пластмасови подложки измества повърхностните свойства към по хидрофобни области в резултат на което откликът на ин витро тестовете е по – позитивен т.е. откликът на (MSCs) нараства на оксидно - структурираните повърхности на пластмасовите подложки.

Чрез полимеризация в плазма от хексаметилдисилоксан и наночастици от сребро и модифицирани със сребро наночастици от диаманти са получени два вида композитни слоеве. Те илюстрират различно включване на Ag в полимерната мрежа. Изследвано е взаимодействието на сребросъдържащите композитни материали с фибронектин(ФН). Проведени са структурни изследвания на съставни слоеве с адсорбиран фибронектин (ФН) с елипсометрия, Fourier Transform Infrared (FTIR) и ултравиолетова (UV) спектроскопия, както и чрез измерване на профила на повърхността (Talysurf). Изследванията на кинетиката на адсорбцията на ФН показват, че процесът зависи от концентрацията на ФН и времето за адсорбция, както и от химическата структура на изследваната повърхност. В сравнение с референтната проба, всички съставни слоеве

проявяват по-силна възможност за инициране на коагулация поради химичните и биологични свойства на тяхната повърхност.

Изследвани са температурно честотните характеристики (ТЧХ) на кварцови резонатори на обемни акустични вълни (ОАВ) с твърди химически чувствителни полимерни слоеве от хексаметилдисилоксан (ХМДСО) за приложения като кварцови микровезни (КМВ) в сензори за течна и газова фаза. Показано е, че слойът, в зависимост от своята дебелина, променя както инверсната температура, така и коефициентите на кубичната температурно честотна зависимост на КМВ. Тези коефициенти са експериментално определени в обхвата от 100 до 550 nm и позволяват корекция на сензорния сигнал с температурно предизвикани отклонения в честотата на КМВ за минимална грешка на измерване.

Демонстриран е метод за регистрация на промяна в хидрофобното състояние на КМВ покрита с тънък слой от епоксидна смола и въглеродни наночастици (ВНЧ). Частиците превръщат повърхността в свръххидрофобна с голям статичен ъгъл на омокряне (151-155 градуса). Чрез прилагане на електрично напрежение между капка от изследваната течност и свръххидрофобната повърхност на КМВ е предизвикано омокряне на повърхността, което се регистрира от КМВ чрез рязка промяна в честотата и. Този метод показва, че КМВ може да се използва за регистриране на промени в състава на определени течности чрез промяна в състоянието на омокряне на свръххидрофобната повърхност.

### **НИСКОТЕМПЕРАТУРНА ФИЗИКА**

В теорията на фазовите преходи, в последните години активно се развива един подход основан на т.н. равенство на Ярзински (Jarzynski equality). Това равенство свързва неравновесната средна работа извършена от една външна сила върху дадена система намираща се в равновесие, с отношението на статистическите суми на двете й (началното и крайното) равновесни състояния. Това е един подход отчитащ ролята на термодинамичните флуктуации, който се използва за интерпретацията на редица експериментални резултати получени за „малки системи“ в областта на „мезо“ и „нано“ скалата. От друга страна съществува нова област в теория на фазовите преходи привнесена в статистическата физика и физиката на кондензираната материя от квантовата теория на информацията основаваща се на изследване на величината “fidelity” (на български «вярност» или «точност»), която характеризира някои геометрични аспекти на пространството на състоянията. Получени са оценки на втората производна на тази величина, т.н. “fidelity susceptibility”, чрез втората производна на неравновесната средна работа извършвана при даден термодинамичен

За пръв път са получени желязо-базирани поликристални свръхпроводими образци FeSe ( $T_c \sim 8-9$  K) и FeSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub> ( $T_c = 14$  K). По флукс метода са получени и монокристали FeSe със значителни размери и много добро качество. Проведени са структурни (XRD и SEM с EDX анализ) и електромагнитни изследвания, свързани с изучаване на флуксонидната динамика в смесено състояние. Определена е линията на необратимост, която е от съществено значение при практическо приложение.

Синтезирани са образци с номинални състави HoBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> и (Ho<sub>0.97</sub>Sn<sub>0.03</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> чрез израстване от стопилка. Показано е, че легирането с калай увеличава полето на необратимост и второто критично поле в сравнение с нелегирания образец. И при двата образца се наблюдава фазов преход на флуксонидите стъкло-течност.

Получени са свръхпроводими керамики (Y<sub>1</sub>Ba<sub>3</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>7</sub>; Gd<sub>1</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> и Bi<sub>1.7</sub>Pb<sub>0.3</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> (2223; 2212; 2201)) с цел използването им като добавка към активната маса на електрод в Ni-Zn акумулаторни батерии. Изследвана е устойчивостта

на структурата и свойствата тези керамики в силно алкална среда. Резултатите показват, че образците запазват свръхпроводимите си свойства след престой в силно алкална среда. Използвани в електродната маса на батерийна клетка и тествани електрохимично, се потвърждава позитивния ефект на свръхпроводимата керамика върху устойчивостта на циклиране на цинковия електрод в състава на реална Ni- Zn клетка. Резултатите с бисмутова керамика дават възможност за изследвания с по-голямо количество добавка и по-нататъшно подобряване свойствата и характеристиките на отрицателния Zn електрод в алкални акумулаторни системи.

Синтезирани са композитни керамични материали на основата на свръхпроводима фаза от Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O и добавка от феромагнитен нанопрах  $\text{La}_{0.6}\text{Pb}_{0.4}\text{MnO}_3$ . Чрез използването на XRD и SEM с EDX са проведени системни изследвания върху фазообразуването и структурата. При подходящо съотношение на двете фази в материала се комбинират различни свойства (свръхпроводимост и феромагнетизъм), което го прави многофункционален и интересен за практиката. Полученият по твърдофазен метод в кислородна среда поликристален образец  $\text{La}_{0.6}\text{Pb}_{0.4}\text{MnO}_3$ , притежава относително висок магнито-резистивен ефект (32.3%) измерен при температура 4 K и магнитно поле 10 kOe. Стойностите на полето на насищане  $M_{\text{sat}}$  (75.8 emu/g при 4 K и 48 emu/g при 300 K) и това на спонтанната намагнитеност  $M_s$  (66.2 emu/g при 4 K и 26 emu/g при 300 K), измерени при температури от 4 K и 300 K, са подобни на тези получени за монокристални образци.

Изследван е химичният състав на повърхността на три от най-използваните ортодонти дъги за лечение в България, състоящи се от следните метални сплави: хром-никелова неръждаема стомана, никел-титан-молибден и мед-никел-титан. Ортодонтските дъги са елемент от фиксиращата техника, използвана за лечение на деформации. Всяка една от тези сплави има специфични характеристики и дава възможност за избор при употребата на дъгите в различни етапи от лечението. Резултатите от направените рентгенови и морфологични повърхностни изследвания показват, че основният химичен състав на ортодонтските дъги не се променя в периода на лечение, който е между 2, 6 и 10 седмици. Наличието на химични примеси и отлагания се свързва с индивидуалната бактериална микрофлора в устната кухина на всеки пациент.

Изследвани са монокристали от  $\text{DyMnO}_3$  в магнитни полета до 14T и при температури в интервала 3 - 300 K. Изведена е зависимостта от полето температура на подреждане на Dy моменти. Парамагнитното Кюри – Вайс поведение се свързва главно с подрешетката на Dy, докато приносът на подрешетката на Mn играе вторична роля. Измерванията на DC намагнитване показват забележима анизотропия, свързана с анизотропната структура на кубичната система по оста на лесно и трудно намагнитване.

Изследвани са монокристали от два вида тетрафосфати  $\text{LiNdP}_4\text{O}_{12}$  и  $\text{LiErP}_4\text{O}_{12}$  с цел да се определи влиянието на магнитния момент на примесния йон (в случая Nd и Er) върху ефективността на лазерни диоди от тези материали.

За пръв път са изследвани магнитни свойства на три типа манганови оксалати кристалохидрати ( $\gamma\text{-MnC}_2\text{O}_4$ ,  $\alpha\text{-MnC}_2\text{O}_4$  и  $\gamma\text{-MnC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) при различни температури и магнитни полета. Работата е свързана с големия интерес за определянето на ролята на кристалната структура и присъствието на двете молекули вода във водните оксалати.

Изследвано е качеството на водите на река Марица, като са използвани данни от дългосрочен мониторинг от 21 пробовзематени станции за 8 параметъра за качество на водите. Прилагането на кластерен анализ, анализ на главни компоненти и множествена регресия по главни компоненти за групиране на параметри и обекти показва, че замърсяването на водите на река Марица се дължи на “биологични”, “антропогенни” и “еутрофикационни” фактори.

Съвместно с колеги от Солунския Университет бе изследвано качеството на въздуха в Солун. Събрани са 26 набора от фракционирани аерозолни проби (PM<sub>0.015</sub>-PM<sub>18</sub>, 10 фракции) чрез импактор на Бернер от рецепторно място в центъра на Солун. Пробите са анализирани за водоразтворими компоненти и водоразтворими органични вещества. Определени са масовите концентрации за отделните фракции за нано- (N: 0.015<D<sub>p</sub><0.06), свръхфини (UFP: 0.015<D<sub>p</sub><0,125), фини (FP: 0.015<D<sub>p</sub><2.0) и груби размери на частиците (CP: 2.0<D<sub>p</sub><8.0), за да се определи масата на водоразтворимите компоненти в отделните фракции. Доминиращи са електролитите във всички фракции (24-27%), следвани от общия органичен въглерод (16-23%). Доказано е, че няколко латентни фактора са отговорни за структурата на данните, независимо от размера на аерозолите – минерален (почвен) прах, морски аерозоли, вторична емисия, горивни източници и индустриално замърсяване. Сезонното разпределение се оказва неспецифично.

Определено е съдържанието на кадмий и цинк в тъкани от бентосни организми (*Mytilus galloprovincialis*) от Варненския залив чрез атомноабсорбционна спектроскопия. Пробовземането е извършено на месечни интервали за период от 12 месеца за три пробовземателни места. Създаденият аналитичен метод бе използван за определяне на концентрацията на токсични метали в различни меки тъкани и черупки от охлюви и бентосни организми. Анализът на данните бе допълнен с корелационен анализ и множествена регресия. Статистическата интерпретация показва, че изследваните организми могат да изпълняват ролята на биомонитори.

Изследвано е качеството на почви с помощта на кластерен анализ, анализ на главни компоненти и самоорганизиращи се карти на Кохонен. Многовариационните статистически методи позволяват коректна класификация на данните от повърхностния почвен слой (0-20 cm) и подповърхностния слой (20-40 cm) за 36 пробовземателни станции от региона на Бургас. Установява се, че факторите, отговорни за качеството на почвата са селскостопанска активност, промишлено влияние, торене и др.

Изследвани са басейните на две реки – Марица и Тунджа, като се прави сравнение между екометричните модели на двете реки, получени от прилагането на кластерен анализ и анализ на главни компоненти, като се потвърждава специфичната зависимост между параметрите за оценка на качеството на водите, от една страна и географското разположение на пробовземателните станции, от друга. Доказва се за двете реки, че горното течение е значително по-чисто и неповлияно от замърсители в сравнение с долното.

От клинични изследвания за пациенти с пролактинома, захарен диабет тип 2 и захранвани по различен начин (парентерално и смесено) след коремни операции, при прилагане на кластерен анализ се откриват образци на подобие между клиничните параметри, което позволява избор на ограничен брой параметри за вземане на коректни решения от страна на лекуващите медици.

## **ФИЗИЧЕСКА ОПТИКА И ОПТИЧЕСКИ МЕТОДИ**

Показано е, че повърхнинно ориентирани едностенни въглеродни нано-тръбички (SWCNT), нанесени върху SiO<sub>x</sub>/ITO/glass повърхност, усилват ефекта на повърхнинна памет, в течния кристал 7OBA (heptyloxybenzoic acid), респективно енергията на „закотвяне“, която става четири пъти по-голяма от тази на SiO<sub>x</sub>/ITO/glass повърхността.

Изследвана е серия от нанокompозити, формирани от водородно свързани в димери течни кристали и едностенни въглеродни нанотръбички - (7OBA/SWCNT) и е намерено, че големината на повърхнинното „закотвяне“, и взаимодействието на нанотръбичките с димерния пръстен, определят типа на симетрия на течнокристалния нанокompозит и провокираната от тази симетрия хиралност или ахиралност. Получена



е система от нови фазови преходи и нови фази (хирален смектик C, реентрант нематик и реентрант хирален нематик), които не са типични за чистия ахирален течен кристал 70BA. Намерено е, че най-ефективната концентрация на SWCNT в течния кристал, осигуряваща необходимото стерично и енергетично съгласуване на тези материали, при която се индуцират течнокристални състояния с нови оптични и електрооптични свойства, е в диапазона 0.01 - 0.007 wt %. Това ни позволи за пръв път да получим в нискомолекулни (с размерност на конвенционалните и използвани в индикаторната и фотонна техника течни кристали) течнокристални системи, теоретично предсказаната от *de Gennes*, хирална двuosна смектична фаза ( $C_G$ ) с триклинна (възможно най-ниската) симетрия -  $C_1$ , не типична за „чистия“ ахирален течен кристал 70BA.

Чрез електрооптични изследвания, при постоянно и нискофотонно електрични полета, демонстрирахме ниско-прагови бистабилности. Измерените електрооптични характеристики на  $C_G$  фазата потвърждават, че тя притежава спонтанна поляризация, чийто вектор е наклонен спрямо нормалата на слоя. Тази поляризация, в комбинация с хиралните свойства на течнокристалната  $C_G$  система потвърждава, че  $C_G$  фазата е фероелектрична в обема. Създаден е модел на електричните бистабилности, който в съгласуваност с термични и оптично-поляризационни анализи, ни позволи да пресметнем числено стойностите на обемната спонтанна поляризация в  $C_G$  фазата в пироелектричен и в диелектричен аспекти.

Чрез отложени слоеве от  $Zn_xCd_{1-x}Se$  с  $x=0.39, 0.59, 0.8$  и дебелина 400 nm е осъществена нов тип повърхност за ориентиране на течни кристали и индуциране на електрически управляеми хирални и ахирални бистабилни смектични C текстури. Предложен е физичен механизъм, обясняващ ориентиращите свойства на  $Zn_xCd_{1-x}Se$  слой.

Изследвани са електрооптичните свойства на еднослойни микро-размерни тънки филми с дебелина 10  $\mu m$  от течни кристали, диспергирани в твърда полимерна матрица, конкретно: дисперсия от нематичен течен кристал E7 в прозрачна фотополимерна матрица от NOA65, в която течнокристални капки с диаметър  $\sim 10 \mu m$  са формирани посредством фазово разделяне, индуцирано чрез фотополимеризация, и са ориентирани чрез нано-структуриран нано-слой ( $\sim 4 nm$  дебелина) от тефлон. Такъв оптичен материал е от практически интерес за електро-оптиката, тъй като може да намери приложение за пренастройваеми амплитудни и фазови модулатори на лазерна светлина, работещи в ниско-честотни (инфра-звук) електрични полета, както и за дискриминиране на мултиплексирани сигнали в оптични микро-устройства. Електрооптичните свойства на материала са изследвани като функция на интензитета и честотата на приложеното напрежение, температурата и големината на течнокристалните капки (2–16  $\mu m$ ).

Експериментално е изследвано фото-индуцирано закотвяне на повърхността на течен кристал – закотвяне, индуцирано чрез *trans-cis* фотоизмеризация под въздействие на ултравиолетово лъчение. Ефектът е характеризирани в тънки хомеотропни слоеве на фотоактивни течнокристални системи, смеси от т.нар. тип гост-хазяин, в които хазяин е нематичен течен кристал MBVA, а фото-активен 'гост' е LC азо-бензенов течен кристал UI-147. За обяснение на наблюдавания ефект е включена и интерпретацията на експериментални резултати, получени чрез оптическа спектроскопия на поглъщане и отражение в ултра-виолетовата и видима области на спектъра.

Чрез лазерна спектроскопия и елипсометрия във видимата област на спектъра е експериментално изследван органичният интерфейс, формиран при свръхтънък диелектричен слой с дебелина около 100 nm, намиращ се на дълбочина  $\sim 100 nm$  в йонно-имплантиран оптически прозрачен полимер, в случая полиметилметакрилат (ПММА). Този полимерен материал, обработен с йонно-лъчева технология (имплантация с ускорени до 50 keV йони на силиций при дози от  $10^{14}$  до  $10^{17} Si^+/cm^2$ ),

притежава нано-структура (нано-кластери, големина на домените около и под 2 nm). Определено е пространственото разпределение (по дълбочина) на комплексния коефициент на пречупване на оптичката среда при горе-указания интерфейс (свърхтънък йонно-имплантиран слой).

Нано-структурираният оптичен материал в йонно-имплантирания ПММА е изследван и с цел да се установи ефекта от взаимодействието на лазерно лъчение (He-Ne лазер) с него, което е от значение за приложението му в оптически устройства. За целта е приложен подходящ теоретичен модел на оптичката среда. Изследван е ефекта от дозата на имплантация. Резултатите показват, че в Si<sup>+</sup>-имплантираните образци се формира слой с дебелина около 100 nm, в който показателят на пречупване постепенно спада в дълбочина. Определените профили на комплексния показател на пречупване са съпоставени със структурните промени при йонната имплантация на ПММА. Получените резултати са от значение за интегралната оптика, както и за нано-фотонни и био-медицински приложения на йонно-имплантирани прозрачни полимери.

Хитиновите пръчковидни наночастици са получени от природен хитин след обработка по специален протокол. След ултразвукова обработка са получени частици със стабилна дисперсия по размер с максимум около 260 nm дължина и 23 nm диаметър. Чрез поляризационна микроскопия е наблюдавано, че водни колоидни суспензии на такива наночастици, в зависимост от концентрацията им, формират фаза с типична текстура на холестерик. При концентрация на хитина от 0.4 тегловни процента, чрез рентгенова дифракция е получено средното разстояние между частиците:  $d_{cp} \approx 120$  nm. Разредените суспензии показват изотропна фаза. Прибавянето на силоксан-олигомери в суспензията води до формиране на двуфазна система на множество домени на хитин-силоксан с хирална нематична текстура, потопени в изотропна фаза. Изследвано е влиянието на AC електрично поле върху двуфазните колоидни суспензии. Чрез разсейване на рентгенови лъчи, направено по време на електрооптичния експеримент, е установена сравнително бърза (15 сек) реориентация на дългата ос на частиците в нематичните домени по полето ( $E=140$  V/mm;  $f = 0.3-1$  MHz). След няколко минути ефективният параметър на порядък на фазата достига до  $S_{eff} \approx 0.75$ , което показва, че се е формирал хомогенен нематичен монодомен. След изключване на полето, подредането се запазва, докато при чиста изотропна фаза дезориентацията настъпва веднага. Получената чрез електрично поле едноосна анизотропна суспензия е оставена да се изсуши без приложено поле. Като резултат е получен хитин-Si нанокompatитен материал с ефективен параметър на порядък  $S_{eff} \approx 0.32$  на разстояние в милиметровата скала. Все по-голям е интересът към такива твърди или порьозни нанокompatитни материали с анизотропна структура и съответно анизотропни механични, оптични и др. свойства с приложение при мембрани, сензори, катализатори и др.

Работата по темата е извършена съвместно с колеги от Лабораторията по физика на кондензираната материя в Университета в град Орсе, Франция и с колеги от Университета в град Монпелие, Франция.

Завършени са успешно два проекта с Фламандската научна фондация – един за Полупроводникови лазери със свързани резонатори и втория за комбинация от полупроводникови лазери и течен кристал. По първия проект е защитена успешно една докторска дисертация. Работено е по следните тематик:

*Полупроводникови лазери с вертикално излъчване (ВИКСЕЛ-и):* Открито е явлението оптичен детерминистичен хаос в лазерен диод – полупроводников лазер с вертикално излъчване (ВИКСЕЛ) с активна среда от квантови точки. Изследванията са проведени в сътрудничество с Супелек, Метц, Франция. Изследвани са теоретично и експериментално ВИКСЕЛ-и в комбинация с холестеричен течен кристал и е показано, че системата излъчва кръгово поляризирана светлина. Изследванията са проведени в

сътрудничество с Университета в Гент, Белгия. Изследвана е експериментално и теоретично нова конфигурация на ВИКСЕЛ-и с два резонатора и е показано силното влияние на термичните ефекти върху модовата структура на генерираната светлина.

*Фотонни кристали:* В сътрудничество с Университета на Илинойс, САЩ и Техническият Университет в Лодц, Полша са продължени теоретичните и експериментални изследвания върху влиянието на параметрите на оптичната кристална структура върху начина на работа на ВИКСЕЛ-и с фотонен кристал.

*Квантова оптика:* Изследвани са експериментално свойствата на квантов генератор на случайни числа и е предложен и усъществен метод за обработка, базиран на времето на пристигане на фотона със значително увеличена скорост на генерация.

*Солитони:* В сътрудничество със Свободния Университет на Брюксел, Вайерщрас институт в Берлин, Германия и Технологичния Университет в Корк, Ирландия, е изследвано теоретично влиянието на оптична обратна връзка върху поведението на солитони във ВИКСЕЛ-и с широка апертура и е получена аналитична формула за прага и скоростта на спонтанно движение. В сътрудничество с Университета на Глазгоу, Шотландия и Свободния Университет на Брюксел, Белгия, експериментално са изследвани пространствени солитони във ВИКСЕЛ-и с 80 мкм апертура.

Протонният обмен (PE) е технология, която привлича вниманието на учените поради лесното и бързо получаване на оптични вълноводи със силен вълноводен ефект в електрооптичните кристали  $\text{LiNbO}_3$  (LN) и  $\text{LiTaO}_3$  (LT). Слойт  $\text{Li}_{1-x}\text{H}_x\text{NbO}_3/\text{Li}_{1-x}\text{H}_x\text{TaO}_3$ , получен чрез Li-H йонен обмен, има сложен фазов състав, зависещ от концентрацията на водорода (стойността на  $x$ ). До седем фази могат да съществуват в PE-LN и до пет – в PE-LT. Всяка фаза образува свой собствен подслой в протонираната област, като този с най-висока стойност на  $x$  се намира на повърхността. По тези причини от определянето на фазата на повърхнинния слой в много случаи може да се направят изводи и за фазите, изграждащи целия слой или за оптичните и електрооптичните качества на вълноводния слой. Отражателните спектри на образци, получени при различни технологични условия и имащи различен фазов състав съдържат нови ивици в областта  $850\text{-}1050\text{ cm}^{-1}$  и всяка фаза има свой специфичен отражателен спектър, състоящ се от компоненти с различен принос към общия спектър. Разлагането на спектрите на компоненти позволява идентифицирането на повърхнинната фаза по честотата на компонентата с най-голям интегрален интензитет. Например при  $\alpha$ -фазата на PE LT най-интензивна е компонентата с пикова честота около  $800\text{ cm}^{-1}$ , за  $\kappa$ -фазата – ивицата при  $885\text{ cm}^{-1}$ , за  $\beta(\gamma)$ -фазата – при  $700\text{ cm}^{-1}$  и за  $\delta$ -фазата - при  $728\text{ cm}^{-1}$  (доминираща) и при  $1000\text{ cm}^{-1}$  (нова).

Пресметнати са механичните напрежения в протонно-обменени вълноводи в литиев танталат с помощта на оптичен интегрален метод. Направен е опит да се обясни големината на механичното напрежение, дължащо се на деформациите в кристалната решетка, с фазовия състав на изследваните вълноводни слоеве. Получените стойности за механичните напрежения и промяната в показателя на пречупване дават възможност да се пресметне коефициента на свиваемост на PE вълноводи в LT за определен фазов състав и дебелина на слоя. Стойността на този коефициент би могла да се използва в случай на монофазни вълноводи със зададени параметри, при които механичното напрежение се оценява само по нея. Тъй като фазовият състав и механичните напрежения в протонно-обменените вълноводи зависят от технологичните параметри на получаването им, проведенният анализ допринася за натрупване на знания по контрол на фазовия състав на протонираните слоеве в LN и LT. Използването на различни източници на протони при подходящи технологични режими би позволило получаването на вълноводи с предварително зададени оптични и електрооптични качества.

Издаден е Том I от двутомника „Физиката в България”, посветен на първите публикации по физика от български учени и поредица книги, посветени на историята на образованието в Софийския университет: тритомник за първите приноси в българската математическата наука, ретроспекция на учебниците по неорганична химия и алманах на Богословския факултет.

Изследвано е явлението оптичен резонанс при участие на повърхнинен плазмон. Експериментално е показано пропускане с много малки загуби на метален слой при възбуждане на „*long-range plasmon*”. Пропускането е само с няколко процента по-малко от теоретично пресметнатото. При такива резонансни структури, с малки оптични загуби, също така се наблюдава и контрастно резонансно отражение. Тези резултати показват възможността за практическо използване на такива решетки, работещи на плазмонен резонанс за оптични сензори и елементи за сигурност за видимата и близката инфрачервена област. Също така е показано едно ново решение, базирано на резонансно пропускане, което подобрява нивото на сигурност при елементите за защита на документи. Изготвянето на такъв елемент с повишена степен на визуална сигурност е тествано в производствени условия.

Експериментално е демонстриран нов метод за изготвяне на холографски дифракционни решетки с точен брой периоди чрез експониране на интерферограма от вълни с цилиндричен вълнов фронт. Получават се дифракционни решетки върху стената на цилиндъра с линии, ориентирани паралелно на неговата ос. Методът е демонстриран с решетка с  $2^{15}$  линии, което при диаметър на цилиндъра от 8 mm дава период от 767 nm. Такива решетки намират приложение за изготвяне на прецизни ротационни датчици и за фокусиране на рентгеново лъчение. Демонстриран е изготвянето на никелово копие на такава решетка, което позволява производство на полимерни копия на цилиндрични решетки чрез леене под налягане.

Технологично са реализирани слоеве от  $\text{Ag}_2\text{Te}$  ( $\text{Ag}_5\text{Te}_3$ ) чрез термично изпарение във вакуум. Изследвани са Рамановите спектри на получените тънки слоеве и микрокристали. Изследвано е влиянието на трислойните структури  $\text{ZnS}/\text{Ag}/\text{ZnS}$  и  $\text{MgF}_2/\text{Ag}/\text{MgF}_2$  върху резонанса при отражение и пропускане в резултат на възбуждане на плазмони в металния слой. Доказано е, че тези структури осигуряват отлични условия за “long-range” плазмонен мод, намалявайки загубите до 10% при резонансно пропускане. Те дават отлична възможност за експериментално наблюдение на аномално отражение в резултат на плазмонни явления.

Показана е възможността слоеве от  $\text{ZnS}$  да служат като интерфейсни слоеве с ниски загуби между полимер и благороден метал за нуждите на плазмонни резонансни елементи. Съвместно с Института по астрономия е завършено разработването и е изграден високоразделящ спектрограф към двуметровия телескоп на НАО Рожен. Взето е участие в експерименти на газов анализатор на базата на ударна електронна спектроскопия. Обработка на енергетични спектри на Пенинг електрони в условия на нелокална плазма при средни и високи налягания. Изготвено е проектно предложение «Обновяване на технологичното оборудване и апаратура за иновативни научно-приложни разработки на многослойни оптични структури» за участие в конкурс по Оперативна програма «Развитие на конкурентноспособността на българската икономика» - Проектът е приет и е подписан договор.

През 2013 г. Л. Цонев продължи да пледира за опазване и строго научно отношение към мегалитните обекти в България, като провежда към тях интердисциплинарен подход. Цялостната му дейност е съзвучна с водещите принципи на БАН в последните години.

Анализиран е най-древният оцелял до днес култов градеж в България – подземният храм-кладенец при с.Гърло. Предложена е археоастрономична хипотеза за

неговото предназначение, която се потвърждава от предварителните измервания на терен. Регистрацията на локалния релеф около храма доказва възможността при този обект да се приложи модерният метод за луминесцентно датироване.

Посетен, оразмерен и заснет е нов кромлех в България, северно от нос Емине, което потвърждава тенденцията, забелязана още от К. Шкорпил, мегалитните обекти да са разположени сравнително близо до крайбрежията на моретата и океаните. Предстои публикуване на новорегистрирания кромлех.

Разработеният от нас в последните години теоретичен апарат за пресмятане на вибрационната структура на многоатомни молекули при много високи енергии на вибрационно възбуждане, е приложен за оптимизиране на потенциалната повърхност на молекулата на формалдехида  $H_2CO$ , чрез вариране на силовите константи на полето във вид на разложение до четвъртата степен по координатите на отместване на атомите от равновесните положения, в основно електронно състояние. Получено е много добро съответствие на изчислените вибрационни честоти при използване на оптимизираното поле с експериментално измерените честоти до около  $6000\text{ cm}^{-1}$ . Разработен е теоретичния апарат и програмния код и са проведени първоначални вибрационни пресмятания върху молекулата на етилена ( $C_2H_4$ ), имаща 12 вибрационни степени на свобода.

Жироскопите са основна част от съвременните навигационни системи. Освен това оптичният жироскоп може да бъде използван за измерване на различни физични величини като ъглова скорост, електрически ток, за детектиране на сеизмични вълни и др. Построен е интерферометричен влакнестооптичен жироскоп на Саняк, предназначен за образователни цели. Засега той мери малки ъглови отклонения, но скоро ще може да мери и силни електрически токове.

Оптичната метрология включва светлинната интерферометрия като основно средство за фазова оценка. Класическото разглеждане на тези измервания не е толкова точно, колкото квантовото. Целта на квантовата интерферометрия е да оцени фазите отвъд “стандартната квантова” граница (the shot-noise limit). Скуизираният вакуум, инжектиран в единия порт на интерферометъра, дава невисока чувствителност. Възможно е да се постигне по-добра чувствителност, ако се съществува нелинейно взаимодействие между фотоните в Мах-Цендеровия интерферометър. В рамките на проекта “Студентски практики” на Министерството на образованието и науката, ние изследвахме теоретично такъв интерферометър, запазен с лазерна (кохерентно състояние) в единия входен порт и скуизиран вакуум във втория. Нашият анализ показва, че границата на Хайзенберг се достига при по-големи стойности на параметъра на скуизиране. Подобно квантово-механично разглеждане може да бъде приложено и към интерферометъра на Саняк и това ще бъде обект на бъдеща работа.

Разгледано е квантуването на електромагнитното поле в нестационарни среди (линейни по  $E$ , с отрицателна електропроводимост). Динамичните инварианти и статистическите свойства на полето се проявяват в такива среди. Показано е, че в собствените състояния на линейните динамични инварианти, Шрьодингеровото съотношение на неопределеността се минимизира. Намерена е времевата еволюция на трите независими статистически момента от втори порядък. Този подход може да бъде приложен към тунелния ефект в микроелектрониката, тунелния ефект при електронен транспорт във фотосинтезата и др.

С метода на локалните функции на основата на метода на Галеркин и със синусови функции за апроксимиране на електромагнитните полета са пресметнати ключови характеристики на фотонно кристално влакно, чиято сърцевина от приемна среда е обградена с един пръстен от дупки с голям диаметър, изпълнени с въздух. Такава конфигурация дава възможност да се оцени с каква точност програмният код пресмята

ключовите му характеристики, тъй като полето на линейно поляризирания (основен) мод е съсредоточено в сърцевината, а не изтича във вън от границите на областта на пресмятане. Получените относителни разлики между две последователни решения са много малки: по броя на членовете на разложенията относителната разлика е  $3.9732 \times 10^{-8}$  и по размера на областта  $7.7695 \times 10^{-12}$  при промяна на размерите на областта с  $0.2 \mu\text{m}$ . Освен това при пресмятането на решенията беше установено, че сходимостта се подобрява с увеличаване на броя на членовете в развитията на решенията, достига се най-добра сходимост и се влошава при по-нататъшно увеличаване на броя на членовете в развитията.

Пресметнати са ключовите характеристики на фотонно кристално влакно с два пръстена от дупки с голям диаметър, изпълнени с въздух. Поради ограничеността на полето на основния мод, ефективният показател на пречупване на мода остана неизменен при добавяне на втория пръстен от дупки, което е критерий, че направеният програмен код дава правилни резултати. Програмно е реализиран предложението от нас теоретичен подход за намаляване на броя на дупките, които се пресмятат.

Бяха завършени изследванията върху формирането на оптичен контраст в слоеве от аморфен силициев карбид с помощта на фокусирани йонни снопове и възможностите за приложения за нано-размерен оптически запис на информация и получаването на суб-микронни литографски маски. Беше изследван ефекта на формиране на оптически контраст в изследваните материали в резултат на бомбардировка с ниско-енергетични ( $\sim 50 \text{ keV}$ ) галиеви йони при различни температури на йонната имплантация, както и ефектите на последващ термичен отгрев върху формирането на оптически контраст. Получените нано-размерни оптически изображения бяха изследвани с различни близко-полеви методи: атомно-силова микроскопия (AFM) и сканираща близко-полева оптическа микроскопия (SNOM), както и с рентгенова фото-електронна спектроскопия (XPS).

Започна работата по нова тематика, свързана с изследването на нов материал – диамантено-подобен въглерод – и приложението му за целите на нано-размерен електрически и оптически запис на информация. По първата тема започна работата по утвърден и стартиращ в началото на 2013 г. проект по 7РП, в който направлението ни и Институтът като цяло е партньор: CareRAMM (“Carbon resistive random access memory materials” – “Материали за резистивна памет на базата на въглерод”) по тематичен приоритет NMP.2012.2.2-2 ‘Materials for data storage’, финансиран по схема SP1-Cooperation: Collaborative project (Small or medium scale focused research project). По втората тема беше подаден проект във ФНИ, който засега не е утвърден, но опитите за привличане на допълнително финансиране по него продължават. По двете теми бяха открити процедури по зачисляване и приети двама нови редовни докторанти към направлението по “Физическа оптика и оптични методи.

## **ФИЗИКА НА МЕКАТА МАТЕРИЯ**

През отчетната година излезе от печат посветеният на доцент Марин Митов том 17 на поредицата *Advances in Planar Lipid Bilayers and Liposomes*, Elsevier с гост-редактор на тома от българска страна гл. ас. д-р Юлия Генова.

Предложен е модел, описващ появата на ориентационни стени в планарен нематичен слой на смес от фенолбензоати под действие на постоянно магнитно поле ориентирано перпендикулярно на слоя. Стените са наблюдавани по-рано от Л. К. Вистинь (Москва, Русия) и сътрудници. Те са ориентирани по началната ориентация на молекулярния директор и формират периодични домени с период от 13 микрона. Установено е, че периодът не зависи от дебелината на изследваната клетка в интервала 50 - 100 микрона. Стените възникват с праг. Скокът на директора между областите с

противоположен ъгъл на наклон се придружава с формирането на система от линии на Veske, които релаксират (изчезват) чрез тримерна деформация на усукване-скосяване-огъване.

Изследвано е влиянието на двувалентни кадмиеви и живачни йони върху мембрани от соев лецитин, с или без вградени йонни канали, с помощта на микропипетна техника за фиксация на мембранни фрагменти по метода на двойно потапяне.

Установено е, че зависимостта на проводимостта на мембраните от концентрацията на добавените йони е немонотонна. При добавяне на кадмий проводимостта на липидния бислои намалява и при определена концентрация се стига до насищане на ефекта. Добавките от живак първоначално нямат съществен ефект върху проводимостта, но при определен концентрационен праг мембранната проводимост започва рязко да расте, което води до скъсване на бислоя.

Изследвано е влиянието на двувалентните йони на тежките метали живак и кадмий върху реконструирана мембрана с вградени аламетицинови канали. Резултатите от експериментите сочат, че при вградени аламетицинови канали има съществена разлика в ефекта на живака и кадмия върху активността на каналите. С повишаване концентрацията на кадмиевите йони се наблюдава дезактивиране на каналите и понижаване на проводимостта на мембраната. Под действието на живака се увеличава вероятността за отваряне на аламетициновите канали. Установено е, че живакът води до симетризация на проводимостта на аламетициновите канали.

Експериментално е изследван ефектът от прилагането на външно електрично поле върху генерацията на втора хармонична (ГВХ) в нематичните течни кристали: 5CB, MBVA и ВМАОВ. Използвайки метода на пространственото разпределение на интензитета на втората хармонична е получена зависимост между големината на ГВХ и приложеното електрично поле. Обсъден е произходът на наблюдаваната ГВХ в случаите с приложено външно електрично поле и без поле. Проведен е анализ на корелацията между флексоелектричния ефект в течните кристали и генерацията на втора хармонична.

Получените резултати са докладвани на Втория национален конгрес по физически науки, проведен през месец септември в София.

Направен е обзор на публикуваните в литературата експериментални данни за механичните и електромеханичните свойства на липидни бислоеве и биомембрани и на съществуващите методи за тяхното измерване. Обсъдено е влиянието върху мембранната еластичност на молекули с биологично значение, такива като холестерола, някои захари и амфифилни пептиди.

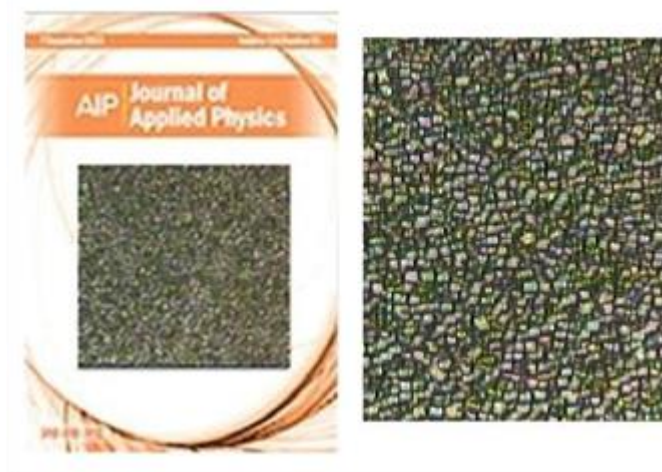
Завършена бе разработката на пакет от компютърни програми за обработка и анализ на експерименталните данни за флукуациите на формата на квазисферични гигантски везикули. В пакета са въведени строги изисквания за качеството на всяка отделна картина от последователността от образи, както и за качеството на везикулата като цяло. При изчисляването на модула на еластичност на огъване е взето под внимание влиянието на белия шум, чието неотчитане води до получаване на значително по-ниска (с повече от 20%) стойност на еластичната константа. Описаните по-долу резултати са получени чрез използването на този програмен пакет.

Изследвани са еластичните свойства на stearoyl-oleoyl-phosphatidylcholine (SOPC) липидни бислоеве, съдържащи анионния липид di-oleoyl-phosphatidylserine (DOPS), при зададена йонна сила на средата и при  $pH < 5$ . При определени експериментални условия (температура, концентрация на заредения липид в мембраната) е установено съществуването на двуфазна област в изследваните SOPC/DOPS мембрани. Модулът на еластичност на огъване на хомогенни течни

мембрани е определен посредством анализ на термичните флуктуации на формата на еднослойни липидни везикули, получени чрез електроформиране и наблюдавани с фазовоконтрастна микроскопия. Проведени са електрокинетични измервания с SOPC/DOPS липозоми и е получена зависимостта на техния повърхностен потенциал от рН, както и от съдържанието на зареден липид в мембраната. Експериментално получените стойности на модула на еластичност на огъване на мембрани с различен липиден състав са разгледани в светлината на съществуващите теории за електростатичния принос към модула на еластичност на огъване на заредени липидни мембрани. Получените резултати са приети за публикуване в специализираното издание на Elsevier, Colloids and Surfaces A.

Завършено е изследването на влиянието на холестерол върху модула на еластичност на огъване на SOPC липидна мембрана в широк концентрационен интервал.

Изследвано е влиянието на наночастици с различни размери и състав (кобалт-ферити, железни оксиди със и без силициева обвивка, нанодиамант с различна очистка) с фиксирана концентрация във водната фаза върху модула на еластичност на огъване на синтетична мембрана. Някои от наночастиците намаляват модула на еластичност на огъване, а при други не се забелязва изменение на тази величина в рамките на експерименталната точност.



Статията: Y.G. Marinov, G.B. Hadjichristov, A.G. Petrov, S. Marino, C. Versace, N. Scaramuzza, "Electro-optical response of PDLC single layers of large nematic droplets oriented by rubbed Teflon nanolayers" е избрана за **'featured article'** на брой 6 (февруари 2013) на списанието Journal of Applied Physics

## **ЛАЗЕРНА ФИЗИКА И ФИЗИКА НА АТОМИТЕ, МОЛЕКУЛИТЕ И ПЛАЗМАТА**

Измерени са времената на живот на 18 състояния в атома на тербий (Tb I) по метода на времевата лазерно-индуцирана флуоресценция (TRLIF). Девет от тези нива са измерени за първи път. Радиационните времена на живот и вероятностите за преход на тербия имат приложение в астрофизиката, за изучаване еволюцията на галактиката, както и на звезди, съдържащи редкоземни елементи. Резултатите са публикувани в Physica Scripta.

Описани и експериментално тествани са нов вид широкоивични ретардъри и тесноивични поляризационни филтри. Новите устройства са разработени чрез прилагане на аналогия на теоретичен метод за композитни импулси от ядрената и квантовата физика върху оптичната физика. Композитните ретардъри и филтри са проектирани от подредени стандартни оптични вълнови пластини с еднаква дебелина



завъртени под определени ъгли. Методът е приложен за различен тип вълнови пластини (широколентови, нулев порядък, от по-висок порядък, и т.н.). Показано е, че комбинирането на два композитни филтъра, изградени от различни видове вълнови пластини, стесняват спектъра от 700 nm до 10 nm ширина. Проектиран е и експериментално тестван ефективен композитен широколентов оптичен изолатор. Получените резултати са публикувани в *Applied Optics*.

Предложена е проста реализация на квантов симулатор на Зета функцията на Риман, чрез използването на хамилтониан, при който взаимодействието е от тип „най-близък съсед“. Разработена е теорията на композитния стимулиран Раманов адиабатен преход, при който съществено се подобрява прецизността на СТИРАП чрез използването на композитни двойки импулси. Предложена е теория за „преки пътища“ към адиабатност, базирани на неермитови хамилтониани. Чрез добавянето на имагинерен член в недиагоналните елементи на хамилтониана на система с две нива, е показано как да се канселират неадиабатните загуби и да се постигне произволно бърз пренос на заселеност. Разширена е стабилизационната теорията на Капица в комплексната равнина, т.е. в случаи на имагинерни осцилиращи потенциали. При високи честоти, спектърът на квазиенергиите се оказва изцяло реален, но със съществена разлика от случая на реален потенциал, която е наличието на свързани състояния. Потенциално приложение може да бъде намерено при стабилизацията на оптични резонатори. Тези резултатите от тези изследвания са публикувани в четири статии във *Phys. Rev. A*.

Предложен е също така нов метод за експериментално определяне на електронната температура и електронната концентрация, основаващ се на измерване на времевата зависимост на електрическите разрядни параметри, такива като напрежение на тръбата и разряден ток, на наносекунден импулсен надлъжен разряд, използван за възбуждане на мощни ДУВ  $\text{Cu}^+$  Ne-CuBr, He-Hg<sup>+</sup> и He-Sr<sup>+</sup> лазери. Използвайки резултатите за средната електронна температура, експериментално определена чрез измерване на относителната интензивност на някои He и Ne спектрални линии, и аналитично решавайки стационарното уравнение на топлопроводността за електроните, е получено радиалното разпределение на електронната температура на наносекунден импулсен надлъжен разряд в Ne-CuBr, He-CuBr и He-(Ne)-SrBr<sub>2</sub> газови смеси за плътност на електрическата входна мощност, независеща и зависеща от радиуса на разрядните тръби.

Продължени са изследванията за създаването на миниатюрен аналитичен детектор за определяне на примеси в газове. Разработеният метод на Ударна Електронна Спектроскопия (УЕС) поставя основите на направление за анализ на газови замърсявания при високи налягания. Осъществена е за пръв път регистрация и идентификация на атомни и молекулни примеси от: 1‰ Ar, 6‰ Kr, 0.5‰ CO<sub>2</sub> и 1‰ N<sub>2</sub> в основен газ He при налягания от 50 до 220 Тор. Осъществен е анализ на Pt и Ag чрез регистрация на атоми на тези метали в основен газ Ar. Резултатите от проведените изследвания разкриват потенциалните възможности на метода УЕС за работа при високи налягания и създаването на иновационен портативен газов детектор, намиращ приложение при екологичен мониторинг, контрол на газовата среда в производствени процеси, откриване на опасни и взривни вещества в системите за безопасност.

Изградена е експериментална установка за изследване влиянието на магнитното поле върху формата, параметрите и излъчваният спектър в лампа на Грим. Използвана е модифицирана лампа на Грим по дизайн на Ferreira, работеща в проточен режим. Проведени са начални изследвания на работния режим на разряда *c/без* магнитно поле. Изследвано е влиянието на интензитета на магнитното поле върху формата на разряда и изменението на интензитета на излъчения спектър на хелий в лампа на Грим.

Наблюдавано е свиване на плазмата по оста на разряда и намаляване на пада на напрежение върху лампата при включване на магнитно поле. При стойност на магнитното поле - *110 Gauss* е регистрирано двойно увеличение на интензитета на линиите на буферния газ - *хелий*.

Продължиха изследванията на лазерна аблация в кухокатоден разряд за целите на спектралния анализ. Изследвана е зависимостта на емисионния сигнал на лазерно-индуцираната плазма от наличието и налягането на околната газова среда. Изследван е и интензитетът на аналитичния сигнал от лазерната аблация в разряд в кух катод като функция на разстоянието проба – катод. Постигнато е пространствено разделяне на процесите на аблация и възбуждане на аблираните атоми. Определени са оптималните условия, при които се постига усилване на интензитета на аналитичните спектрални линии. В процес на изграждане е нова експериментална установка за лазерна аблация в кух катод, позволяваща работа при проток на буферния газ.

Чрез LIBS и ED-XRF е определен елементния състав на 60 бронзови артефакти от късната бронзова епоха (1600 – 1100 BC), намерени в праисторическото селище Балеи. Получени са резултати за количественото съдържание на калай и олово в тях. Резултатите ще помогнат за изясняване на развитието на металургията в древността и се подготвят за публикуване в специална монография, посветена на праисторическото селище Балеи.

Направен е първоначален елементен анализ на керамични фрагменти, инкрустирани с бяла глина от късната бронзова епоха (II хил. пр. н. е.), открити в с. Овчарци – Раднево. Целта на анализа е да се определят материалите от които е направено бялото вещество, използвано за инкрустацията – дали са използвани стрити минерали, глина или животински кости. Поради сложността на задачата предстоят по-обстойни и различни по вид анализи.

Чрез LIBS анализ е изследвана технологичен материал от преработка на руда в Асарел-Медет. Разработената апаратура и методи могат да се използват за дистанционен и в реално време контрол на елементния състав при синтез на нови материали и други технологични процеси, както и за контрол и диагностика на замърсявания на околната среда, замърсявания в изоставени индустриални зони и други, което ще позволи намиране на нови области на приложение.

Доизградена и оптимизирана е лабораторната система за лазерно-флуоресцентен анализ. Подготвени е голям набор от нови еталонни образци на багрила, пигменти и свързатели, с които са направени предварителни експерименти. Направени са начални експерименти за лазерно-флуоресцентен анализ с времева разделителна способност.

Разработен е оригинален z-scan метод за изследване на нелинейните оптични свойства - нелинейния показател на пречупване  $n_2$  и мулти-фотонния коефициент на поглъщане  $\alpha$ , на различни оптични материали. Новоразработеният метод дава възможност за едновременно измерване на нелинейни коефициенти. Чрез прилагане на CCD камера, вместо използваните обикновено диафрагма и измерител на мощност, се избягват проблемите с дифракцията, а в резултат на използването на fs лазер, влиянието на термичните ефекти е сведено до минимум. Достоверността на метода е проверена чрез измерване на нелинейни оптични параметри на известни от литературата материали. Изследвани и охарактеризирани са нелинейните оптични свойства на няколко многокомпонентни стъкловидни матрици. Демонстрирани са уникалните свойства на ново синтезирани за целите на нелинейната оптика TGN стъкла. Постигнато е изменение на микро-симетрията на стъкловидната матрица и формиране на домейни с кристална структура в стъклото за постигне на квази-синхронизъм. Наблюдавана е генерация на втора хармонична в стъклени матрици.

*Музей “История на физическите науки в България” при ИФТТ:*

Историята на физическите науки е проблематика, по която в Института по физика на твърдото тяло има създадени традиции. Подредена е изложба и е регламентиран достъпът на външни лица.

Създадени са 4 документални филма посветени на португалски научни музеи, годишната среща на групата по история на физиката към Европейското физическо дружество, европейските научни колекции “Universeum”, Лисабонския национален музей по естествена история, Научният музей на Университета в Коимбра и др.

От историческа гледна точка откривателският процес се състои от няколко етапа. Елисавета Кара-Михайлова (1897 – 1968) има научен принос в един от етапите на създаването на научно откритие по време на работата си във Виена. В България тя полага основите на университетското обучение по космични лъчи в Софийския университет (1940 – 1955). Незаменима е ролята ѝ за изграждането на експерименталната ядрена физика при Българската академия на науките (1955 – 1968).

През 2013 година **научният семинар на ИФТТ** проведе 7 заседания. Беше изнесена Почетна лекция от Prof. Dr. Joost van der Mullen, Eindhoven University of Technology (TUE), The Netherlands по повод награждаването му с Почетния знак на ИФТТ. Лекции изнесоха и други гости на Института. Според изискванията на ЗРАС семинарът изслушва и **академичните лекции** на новоизбраните на академични длъжности колеги - З. Леви, И. Бинева и Т. Тенев (за доценти).

**През 2013 г.** учени работещи в ИФТТ бяха отличени за своите научни постижения със следните награди:

- **Почетен знак на БАН “Марин Дринов”** – Кирил Благоев
- **Почетен знак на БАН “За заслуги към БАН”** – Елена Атанасова
- **Награда на ЮНЕСКО и L’Oreal “За жените в науката”** – Силвия Бакалова
- **Награда за млад учен “Професор Марин Дринов”** – Боян Торозов
- **Почетен знак на ИФТТ – на лента:** Емил Влахов
- **Почетен знак на ИФТТ – нагръден:** Светослав Стойчев
- **Номинация за изобретател на годината (2013)** – колектив: Николай Вучков, Красимир Темелков и Никола Съботинов

## **2. РЕЗУЛТАТИ ОТ НАУЧНАТА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2013 Г.**

### **2.1. Най-важно и ярко научно постижение**

За пръв път са реализирани нанокompозити от димерни течни кристали и въглеродни нанотръбички, при което се променя симетрията на димерната молекула, радикално се снижава симетрията на течнокристалната система и в резултат се достига до израстване на нова фeroелектрична смектична фаза с триклинна симетрия. Този ефект е в основата на трансформирането на ахирална димерна в хирална фeroелектрична фаза с постоянна обемна електрична поляризация, позволяваща управление на течнокристалната система с ниски напрежения необходими за съвременната индикаторна и фототехника. Това съвпада и с фундаменталното предсказание на нобеловия лауреат Де Жен, че постоянна фeroелектрична обемна поляризация може да съществува в течна фаза, така както и в твърдата кристална. (Колектив с ръководители проф. дфн Минко Петров и гл. асист. д-р Бойко Катранчев)

### **2.2. Най-важно и ярко научно-приложно постижение**

Предложен е оригинален субпикосекунден z-scan метод за изследване на нелинейните оптични свойства - нелинейния показател на пречупване  $n_2$  и мулти-фотонния коефициент на поглъщане  $\alpha$ , на различни оптични материали. Новоразработеният метод има следните предимства пред стандартния z-scan метод: дава възможност за едновременно измерване на нелинейните коефициенти; избягват се проблемите в резултат на дифракцията; влиянието на термичните ефекти е сведено до минимум. Разработената система е проверена чрез измерване на нелинейни оптични параметри на известни от литературата материали. Изследвани са и са определени стойностите на  $n_2$  и  $\alpha$  на новосинтезирани стъкловидни матрици, притежаващи променливи нелинейни оптични свойства. (Колектив с ръководител: доц. д-р Тодор Петров)

### **3. ХУДОЖЕСТВЕНОТВОРЧЕСКА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2013 Г.**

няма

## **4. МЕЖДУНАРОДНО НАУЧНО СЪТРУДНИЧЕСТВО НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2013 Г.**

Въпреки намаленото финансиране по Международното сътрудничество Институтът по Физика на твърдото тяло продължи да развива и през 2013 г. връзките си в традиционните направления, в които учените от Института са извоювали своя авторитет пред колегите си от чужбина. Това са сътрудничества **на ниво Академия и двустранни сътрудничества** между ИФТТ и университети, лаборатории и организации от цял свят.

От изключително важно значение за дейността на Института са възможностите за участие в 7РП, особено чрез подписването на договора ИНЕРА „Повишаване на капацитета на ИФТТ - БАН в областта на многофункционалните наноструктури” (INERA – „Research and Innovation Capacity Strengthening of ISSP-BAS in Multifunctional Nanostructures” по Европейски конкурс REGPOT-2012-2013-1, който стартира на 15.10.2013 г. и е с продължителност 42 месеца. Общият бюджет на проекта е 4 541 368 евро, като Европейския финансов принос е 4 053 611 евро. Целта на проекта е да се повишат и консолидират натрупаните знания и опит в Института по физика на твърдото тяло, както и в други институти на БАН и на Физическия факултет на СУ ”Св. Кл. Охридски” в областта на мултифункционалните структури и прибори.

При посещенията си в чужбина учените от ИФТТ можеха да научат за най-новите постижения в областта на физиката на кондензираната материя, да представят и обсъдят с чуждестранните си колеги свои резултати и постижения или да проведат съвместни експерименти на съвременна скъпоструваща научна апаратура липсваща в България.

През 2013 година благодарение именно на богатите международни контакти на сътрудниците на ИФТТ може да се отчете значителна научна продукция. За нейната реализация голяма роля изиграха сътрудничествата на Института с няколко международни центъра, които все още са поддържани от БАН (ОИЯИ- Дубна, НИЦ – Росендорф, Германия и Международната Лаборатория за Силни Магнитни Полета и Ниски Температури във Вроцлав, Полша). Тези връзки доведоха до продължаване на работата по 34 международни договора и по този начин допринесоха за поддържането на високото ниво на научно-експерименталната дейност, с която Институтът е известен.

115 публикации от общо 165 излезли от печат публикации през 2013 г. са в съавторство с чуждестранни учени.

През 2013 година продължиха усилията на ръководството на ИФТТ за търсене на нови форми за международно финансиране на дейността на учените от ИФТТ. Продължават усилията и на ръководителите на млади учени - студенти, докторанти от ИФТТ за търсене на възможности за тяхното финансиране по различни други програми и договори. Има 1 осъществена командировка по програмата „Еразъм“.

### **3.1. В рамките на договори и спогодби на ниво Академия**

През 2013 г. в ИФТТ беше работено общо по 22 проекта в рамките на традиционното вече междуакадемично сътрудничество между БАН и съответните научни организации: Русия (4), Румъния (4), Сърбия (3), Унгария (2), Украйна (2), Полша (2), Белгия (2), Македония (1), Чехия (1), Латвия (1), Словения (1). Те се изпълняват въпреки финансовите трудности и отчетите им са разгледани и приети от Научния съвет на ИФТТ.

От особено значение за нивото на научните изследвания в ИФТТ са работите, провеждани в ОИЯИ-Дубна (4 договора) и Международната Лаборатория за Силни Магнитни Полета и Ниски Температури във Вроцлав, Полша. Тези институции останаха

малкото места, където наши учени могат да посещават и да провеждат изследвания на високо ниво в рамките на договори и спогодби на ниво Академия.

### **3.2. На договори и спогодби на институтско ниво**

ИФТТ има преки двустранни сътрудничества с чуждестранни Институты и лаборатории от над 20 страни в света като например: Великобритания, Австрия, Белгия, Германия, Индия, Италия, Китай, Полша, Русия, Сърбия, Унгария, Франция, Македония, Холандия, Шотландия, Чехия, Латвия, Тайван, Япония. 22 от тези двустранни договори са по ЕБР, 3 са от ФНИ и МОН (Румъния, Индия, Рила) и 11 - финансирани от ЕС и други международни организации и програми (Euratom, Cost).

Учени от ИФТТ участват в европейска мрежа за сътрудничество в областта на науките и технологиите, COST TD1104 Action EP4Bio2Med „European network for development of electroporation-based technologies and treatments” (Европейска мрежа за развитие на технологии на основата на електропорация). Подписан бе договорът 312804 „Device For Large Scale Fog Decontamination“ COUNTERFOG. по програма „Security” на FP7. Продължи работата по договор 309980 “Carbon resistive random access memory materials” CareRAMM финансиран по 7РП.

Започна изпълнението на договор по програмата РИЛА - българо-френско сътрудничество с ръководител доц. Е. Димова (8 821 лв.), както и на договор по Международно сътрудничество на МОН с Индия (рък.: доц. Й. Маринов, 20 000 лв.).

През 2013 г. продължиха традиционните за ИФТТ усилия за обединяване на академичната и университетска наука и признаването ни за обучаваща организация в международен план. В Лабораторията лазери с метални пари е проведен е десетдневен курс за обучение на трима сътрудници от Томския Държавен Университет, Русия.

През 2013 година 60 сътрудници на Института са участвали в 53 конференции и школи в чужбина, където са представили своите постижения в над 80 доклада и постера. Финансирането на участието, обаче, става все по-голям проблем и тази важна за функционирането на науката дейност се затруднява.

56 учени от ИФТТ са били в командировка в чужбина за работа по 36-те международни договора изпълнявани през отчетната 2013 г., а 11 за участие в конференции. Броят на дългосрочно пребиваващите учени от ИФТТ с разрешен отпуск е 9, а на специализациите 1. Институтът е бил посетен от 19 чуждестранни учени от 8 страни.

### **3.3. Най-значими международно финансирани проекти на ИФТТ**

Най-значимите международно финансирани проекти, по които е работил Институтът през 2013 г. са:

**4.3.1.** INERA – „Research and Innovation Capacity Strengthening of ISSP-BAS in Multifunctional Nanostructures”, координатор: акад. А.Г. Петров, отговорен изпълнител: доц. д-р Е. Влахов, финансово-административен отговорник: проф. дфн Кирил Благоев, 5 153 310 лв.

**4.3.2.** “Carbon resistive random access memory materials” CareRAMM 7РП, ръководител: доц. д-р Т. Цветкова, 85 273 лв.

**4.3.3.** “Preparation and study of iron based superconducting materials”, Euratom, ръководител: доц. д-р Е. Назърова, 24 775 лв.

## **5. УЧАСТИЕ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО В ПОДГОТОВКАТА НА СПЕЦИАЛИСТИ ПРЕЗ 2013 Г.**

Учени от Института по физика на твърдото тяло четат лекции и водят упражнения по основни курсове, като обща физика, термодинамика и статистическа физика, аналитична химия в Техническия университет-София, УАСГ, ХТМУ и др. Сътрудници от ИФТТ четат лекции по нови, модерни области като физика на меката материя, биоелектроника, неопределени системи, водят спец-курсове като физика на твърдото тяло, свръхпроводимост, магнетизъм, екофизика и др. Учени от Института изнасят лекции по теоретична физика, физика на твърдото тяло, математични методи, биофизика в редица университети в чужбина (Словения, Испания, Германия, Белгия).

ИФТТ участва в Проект “Студентски практики”, финансиран по ОП “Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд. Сключени са договори със Софийския университет „Св. Кл. Охридски“ и Университета за национално и световно стопанство. А. Стоянова-Иванова и С. Терзиева изпълняват длъжността „секретариат“ по Стажантските програми към проекта. Работи се със студенти – стажанти. Служители от ИФТТ участват активно и при организиране на посещения на ученици и студенти в Института.

А. Стоянова-Иванова е участвала в Програмата “Еразъм” по договор с Талинския технологичен университет – Естония.

През 2013 г. в ИФТТ са обучавани 10 студенти. Успешно са защитени една бакалавърска и една магистърска дипломни работи към СУ.

Институтът по физика на твърдото тяло е акредитиран за обучение в научна и образователна степен “доктор” по специалности от професионалните направления 4.1. “Физически науки” и 4.3. “Биологически науки”.

През 2013 г. в Института са се обучавали 10 редовни и 3 задочни докторанти и 5 на самостоятелна подготовка. Зачислени са 4 нови докторанти. Успешно са защитили 4-ма докторанти: Кръстьо Бучков, Стефка Славеева, Ивайло Балчев и Николай Денев. ИФТТ има възможност за обучение на повече докторанти, но за съжаление кандидатите не са достатъчно.

Хассан Шамати бе поканен лектор на VI-тия пролетен семинар на докторантите и младите учени по „Интердисциплинарна химия“. Ангелина Стоянова-Иванова е научен ръководител на един докторант към Медицинския университет-София, Факултет по дентална медицина и научен консултант на един докторант от Института по електрохимични и енергийни системи –БАН.

В Лабораторията лазери с метални пари е проведен десетдневен курс за обучение на трима сътрудници от Томския Държавен Университет, Русия. За две седмици на студентски стаж беше Giulio Fabbro от колежа Queen Mary, University of London.

Традиционно Зимният семинар на младите учени и докторанти се организира от доц. К. Темелков, с активното участие на младите учени от ИФТТ.



## 6. ИНОВАЦИОННА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО И АНАЛИЗ НА НЕЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ ПРЕЗ 2013 Г.

### 6.1 Осъществяване на съвместна иновационна дейност с външни организации и партньори

Бяха продължени контактите и съвместната дейност с високо технологични фирми и организации. Тези фирми и организации са: Пулслайд ООД, “Асарел Медет”, “Фесто”, “Про лайф техноложи”, “Лазер продукт” Получени са редица продукти които са готови за реализация.

1. Динамичен тягов интегратор.
2. Оптимално разпределение на подвижен състав.
3. Прогнозиране на трафик.
4. Устройство за визуализиране на неравномерности по повърхности.
5. Устройство за контрол на състава на образци.

Лабораторна и портативна лазерна система за анализ на примеси е предоставена за възмездно извършване на анализи на външни потребители. Проведени са анализи на керамика от Раднево. Спектрофотометър от направлението Оптика и спектроскопия и инсталацията за нанасяне на тънки слоеве също възмездно осъществяват задачи на външни потребители.

В направление «Лазерна физика, физика на атомите, молекулите и плазмата» се поддържат общо 7 патента. В процедура е още един патент и през 2013 г. е направена заявка за още един. За втори път учени от направлението са номинирани от патентното ведомство на Република България за изобретател на годината в категория “Електроника и електротехника” за 2013 г. Това са проф. Н. Вучков, доц. К. Темелков и акад. Н. Съботинов за изобретението “Лазерна тръба за инфрачервен стронциев лазер с пари на стронциев халогенид”.

Голяма част от дейността на направлението има пряка практическа насоченост. Гл.ас. Огнян Съботинов участва в международна научна мрежа съвместно с южнокорейската фирма Bison Medical Co за разработване на урологичен лазер за изпарение на простата.

В направление „Ниски температури” са заявили патент през 2013г. „Електродна маса на цинков електрод за алкални зареждаеми батерии”. Изобретението се отнася до електродна маса на цинков електрод за алкални зареждаеми батерии, които се използват като източници на ток в преносими механични и микроелектронни устройства и комуникационни средства.

Съгласно договор за сътрудничество между Институт по физика на твърдото тяло и Институт по електрохимия и енергийни системи се разработва подпроект финансиран от бюджетна субсидия (ИЕЕС) „Получаване и охарактеризиране на високотемпературни свръхпроводими керамики за потенциално приложение в никел-цинк батерии“ Колективът е Младен Асенов Младенов, Райчо Георгиев Райчев, Лозан Златанов Стоянов, Даниела Георгиева Ковачева, от ИФТТ: Ангелина Колева Стоянова-Иванова, Станимира Димитрова Терзиева.

Научно приложното звено „ Молекулярна епитаксия” са заявени следните патенти в процедура:

1. Метод и сензор за имунометричен анализ - № 110556.
2. Метод и устройство за пределно точно измерване на отношения на честоти на еднотипни периодични процеси - № 110557.

Фундаменталния физически подход използван при решаването на проблемите на измерванията на конформните биохимични реакции, които са в основата

на живота, обезпечи принципно нови (патентируеми) апаратурни решения, позволяващи регистрацията на конформното свързване на само няколко антители със съответните им антигени (или обратното). Разработените решения обезпечават пределно чувствителна апаратура позволяваща изследването на всяка една отделна жива клетка.

Направлението „Нанозфизика” поддържа един български патент No 65971/09.09.2010 Метал-изолатор-силиций структури, съдържащи силициеви наночастици, които намират приложение в микроелектрониката, като алтернатива на сега използваните постоянни микроелектронни паметни с плаващ гейт на базата на поликристален силиций и има една заявка за патент от 2011 г. върху метал-изолатор-силиций структури за детектори на йонизиращи лъчения, съдържащи силициеви нанокристали.

## **6.2 Извършен трансфер на технологии**

Съвместно с Регионалния академичен център в Пловдив се провеждат изследвания върху наноструктурирани повърхности чрез атомносилон микроскоп (AFM), както и херметизация и корпусиране на сензори.

По договор с фирмата «ЛЕД микросензорс» - Русия е проведена работа с фотолиитографска техника за оптимизиране на ЛЕД чип.

## 7. СТОПАНСКА ДЕЙНОСТ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ПРЕЗ 2013 Г.

### 7.1. Осъществяване на съвместна стопанска дейност с външни организации /продукция, услуги и др., които не представляват научна дейност на звеното/

От Музея *“История на физическите науки в България”* при ИФТТ са изпълнени две поръчки към фондовете на Музея през 2013 г. Посетители на читалнята са използвали фондовете на Разум Андрейчин, акад. Александър Держански и публикации по история на физиката.

Дарения за музея през 2013 г. са направили 12 дарители (д-р П. Шустер, д-р М. Лоренцо, акад. А. Г. Петров, акад. Ч. Палев, чл.-кор. Ч. Стоянов, проф. И. Аврамов, проф. Н. Балабанов, проф. Б. Ковачев, доц. д-р Н. Богданова, Л. Юркова, А. Харизанов, Б. Кралев). От тях са постъпили 3 нови фонда (Н. Киров, Н. Богданова и Л. Юркова); 2 документални филма (проф. д-р Иван Аврамов), 1 преносима памет (акад. Чавдар Палев) и над 1217 заглавия и 181 тома периодика.

Музеят поддържа 2 интернет страници (на Музея и Мемоарите на Съюза на физиците в България). През 2013 година са преработени 136 файла и са създадени 65 нови html страници за Музея. За Мемоарите на СФБ са променени 6 файла.

- Приходи от поръчки към апаратурата за елементен анализ – **1000 лв.**
- Приходи от продажба на течен азот на външни потребители, реализирани от дейността на Лаборатория НТФ за 2013 г. – **3337 лв.**
- Приходи от експертна дейност на Центъра за изследване на физични свойства на материали, повърхности и структури: - **21618 лв.**
- Приходи от Музея *“История на физическите науки в България”* при ИФТТ – **40.50 лв.**

## 7.2. Отдаване под наем на помещения и материална база

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

- 1 “АВВ Инженеринг”-прекратен
- 2 “Анед – С” ЕТ
- 3 “Акс Каффа” ЕООД
- 4.“Армекс - Ко” ООД
- 5 “Гитава” ООД
- 6 “ДЕКОРПЛАСТ”ООД
- 7 “Дино арт” ЕТ
- 8 “ЛОУНДРИ 08” ЕООД”
- 9 “Пулслайт”ООД
- 10 “Ма-Койн – Й”ЕООД
- 11 “Михаил Янков”ЕТ
- 12 Никола Байнов
- 13 “ПиСихаос” ЕООД
- 14 “Симеон Петров – Елеонора” ЕТ-прекратен
- 15 “Скай Принт ООД
- 16 Стоян Нешев
- 17 “ТОП АДВЕРТАЙЗИНГ ТИМ” ЕООД-прекратен
- 18 “Ченти спорт”ООД
- 19 “БУЛСТРОЙ ГРУП” ООД-прекратен
- 20 “ИВЕМ ”ЕТ
- 21 “ЛЕД КОРЕКТ”
- 22 “Кварцлинк” ООД“
- 23 Ен Ти Пи”ЕООД ( 01.10.2012)-прекратен
24. Шмиц, Шмуц и Шмоц777”ООД
- 25 “АБС-ко” ООД-прекратен
- 27 ЕТ”Мултиинженеринг”

**Бяха сключени договори с фирмите “Ник Трейд 12” ЕООД, Преслав Валентинов Панчев, Радослав Сашев Иванов и “БИЛДИНГ СТАНДАРТ” ООД.**

**Общо през годината са получени от наеми 157 196.00 лв.**

- 1 965 лв. - републикански бюджет
- 1 965 лв. - резерв
- 26 199 лв. - ДДС.
- 63 534 лв. - ЦУ - БАН
- 63 533 лв. - ИФТТ

В бъдеще възможностите за отдаване под наем са свързани с оптимизация на помещенията, както и с терени за рекламни табла.

## 7.3. Друга стопанска дейност

няма

## **8. КРАТЪК АНАЛИЗ НА ФИНАНСОВОТО СЪСТОЯНИЕ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО ЗА 2013 Г.**

Институтът се финансира от бюджета и със собствени средства. **Приходите са 7 332 448 лв.**, в т.ч. бюджетната субсидия е **1 838 280 лв.** **собствени средства 5 401 166 лв.** и трансфери **93 402 лв.**

Разходите са както следва:

01 Заплати, осиг. вноски, обещетения КТ	-	<b>1 686 436 лв.</b>
02 Други възнаграждения	-	<b>46 765 лв.</b>
10 Издръжка /охрана, командировки, раб. облекло, м-ли, външни у-ги, тек. ремонти, вода, парно, телефони, ел. е-я/	-	<b>388 358 лв.</b>
40 Стипендии	-	<b>52 300 лв.</b>
51 Основен ремонт	-	<b>37 012 лв.</b>
52 Придобиване на ДМА	-	<b>28 182 лв.</b>

Списъчният състав на Института от **183 щатни бройки** и десет редовни докторанти.

Договорите за отдаване под наем са тристранни - наемател, ИФТТ и БАН. От тях се превеждат дължимите данъци и остатъкът се разпределя между БАН и ИФТТ по **63 533 лв.**

Валутната сметка е открита за разплащания по международни проекти и приходите от тях са **5 238 585 лв.**

Приходите по договори с МОН **28 821 лв.**, възстановени **4 485 лв.**, постъпления по договор Евroatом с р-л Елена Назърва - **20 863 30 лв.**, от ЦУ БАН за ремонти - **41 738 лв.**

Транспортните средства са 3 на брой.

Основните средства, закупени със средства по договори с ФНИ, се осчетоводяват задбалансово.

## 9. СЪСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМИ НА ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО В ИЗДАТЕЛСКАТА И ИНФОРМАЦИОННАТА ДЕЙНОСТ ПРЕЗ 2013 Г.

През 2013 г., за пореден път ИФТТ издаде във вид на книжка годишния отчет на Института на английски език (Annual Research Report 2013), което е много полезно при запознаване на чужди институции и колеги с дейността на Института. Бяха представени материали за представяне на Института в албума на община Младост.

Изминалата 2103 година бе преломна в няколко отношения за локалната мрежа на ИФТТ. Остарялата инфраструктура се осъвремени с закупуването на нови по-мощни сървъри и по-модерни суичове. IP пространството на ИФТТ се разшири до две цели мрежи и вече може да осигури свързването на около 500 персонални компютъра за ползване от служителите на ИФТТ срещу 300 преди промяната. Предстои и пускането в експлоатация на нов мейл сървър, който ще реши наболелите проблеми, свързани с моралното остаряване на досегашния сървър. Новата машина отговаря за съвременните изисквания за обслужване на електронната поща и предлага веб интерфейс.

Както до сега и занапред осигурените мрежови услуги са: електронна поща с ефективни анти-вирусна и анти-спам защита, веб сървър, споделено дисково пространство, прокси-сървър и връзка с Интернет. Поддържа се необходимата инфраструктура (DHCP сървър, DNS сървър). Осигурена е постоянна наличност на мрежови консумативи – кабел, конектори и др.

Снабдяването с книги и списания продължава да е крайно недостатъчно. Много полезен в това отношение би бил on-line достъпът до поредицата Physical Review и следните бази данни: ISI Web of Knowledge, Science Direct, SCOPUS, за които Ръководството на БАН трябва да направи съответния абонамент.

Редовно се изпращат материали, отразяващи научните постижения и дейността на ИФТТ в Отдел „Секретариат, протокол и връзки с обществеността” на Българска академия на науките. Те могат да бъдат видени на сайта на БАН в рубриката Академични новини и в Информационния бюлетин на БАН.

Голяма част от тях предизвикаха медиен интерес, поради което научната дейност на Института и участието на учените от ИФТТ в обществено значими мероприятия бяха отразени: в 11 материала, включени в новинарските емисии на електронните медии; в 9 статии на вестници, сред които са *24 часа*, *Дневник*, *Новинар*, *Аз Буки*, *Ното Sciencs* и *Всичко за семейството*; в 1 статия на списание „Наука“; в 1 съобщение в новините на *БНР* и 1 репортаж на *TV7*. **Двама** наши колеги бяха поканени да участват в предавания на *Нова телевизия* (Силвия Бакалова) и *Дарик радио* (Николай Вучков).

**10. ИНФОРМАЦИЯ ЗА НАУЧНИЯ СЪВЕТ НА  
ИНСТИТУТА ПО ФИЗИКА НА ТВЪРДОТО ТЯЛО  
ПРЕЗ 2013 г.**

**10.1. Списъчен състав на Научния съвет на ИФТТ**

№	звание	степен	Име, презиме, фамилия	
1.	Акад.	дфн	Александър Георгиев ПЕТРОВ	ИФТТ
2.	Акад.	дфн	Никола Василев СЪБОТИНОВ	ИФТТ
3.	Проф.	дфн	Кирил Борисов БЛАГОЕВ	ИФТТ
4.	Проф.	дфн	Николай Стойчев ТОНЧЕВ	ИФТТ
5.	Проф.	дфн	Минко Първанов ПЕТРОВ	ИФТТ
6.	Проф.	дфн	Светослав Рашев СЛАВОВ	ИФТТ
7.	Проф.	дфн	Марин Мирчев ГОСПОДИНОВ	ИФТТ
8.	Проф.	дфн	Изак Маир БИВАС	ИФТТ
9.	Проф.	дфн	Хассан ШАМАТИ	ИФТТ
10.	Проф.	дфн	Дианка Димитрова НЕШЕВА-СЛАВОВА	ИФТТ
11.	Доц.	д-р	Марина Годорова ПРИМАТАРОВА.	ИФТТ
12.	Доц.	д-р	Маргарита Георгиева ГРОЗЕВА	ИФТТ
13.	Доц.	д-р	Теодор Иванов МИЛЕНОВ	ИЕ
14.	Доц.	д-р	Виктория Виткова ВИТКОВА	ИФТТ
15.	Доц.	д-р	Огнян Динев ИВАНОВ	ИФТТ
16.	Доц.	д-р	Петър Методиев РАФАИЛОВ	ИФТТ
17.	Доц.	д-р	Емил Стефанов ВЛАХОВ	ИФТТ
18.	Доц.	д-р	Албена Паскалева ДОНЧЕВА	ИФТТ
19.	Доц.	д-р	Екатерина Иванова РАДЕВА	ИФТТ
20.	Доц.	д-р	Анна Мария СЕКЕРЕШ	ИФТТ
21.	Доц.	д-р	Валентин Иванов МИХАЙЛОВ	ИФТТ
22.	Доц.	д-р	Емилия Стоянова ДИМОВА	ИФТТ
23.	Доц.	д-р	Димо Николов АСТАДЖОВ	ИФТТ
24.	Доц.	д-р	Красимир Ангелов ТЕМЕЛКОВ	ИФТТ
25.	Проф.	д-р	Димитър Атанасов ДИМИТРОВ	ВСУ-София

**10.2. Дата на избиране на Съвета и сведения за промени в състава му след избора**

Научният Съвет на ИФТТ е избран след тайно гласуване на 08.02.2012 г. и 14.02.2012 г. от Общото събрание на учените на ИФТТ.