

Документ 14

Авторска справка за оригиналните приноси на гл. ас. д-р Кирил Младенов Кирилов представени за участие в конкурс за “Доцент” по 4.1 Физически науки(Електрични, магнитни и оптични свойства на кондензираната материя) обявен в Държавен вестник, бр. 93 от 26 ноември 2019 г.

В авторската справка за научни приноси са представени 16 научни публикации. Номерацията на статиите/работите е според номерацията в Документ 10б-Таблица В3. Както се вижда от съдържанието по-долу, представените публикации са разделени основно на две тематиките, а всяка от тематиките е разделена допълнително на подтеми обединяващи група от публикации. Към всяка подтема в съдържанието, са дадени номерата на публикациите в скоби. Едната основна част от представените работи е свързана с изследване на нови материали за оптоелектрониката с различни експериментални техники. Втората основна част от работи е свързана с разработване на нови методики и модели. В началото на основните части е изложено резюме на приносите за съответната част от работи. Личният ми принос е отразен в края на всяка от работите.

1. Изследвания на нови материали.....	1
1.1. Въглеродни наноматериали (1, 8).....	2
1.2. Наночастици и квантови точки (6, 9).....	3
1.3. Нитридни материали	5
1.3.1. разредени нитриди (10, 2, 7).....	5
1.3.2. нитридни слоеве (4, 14).....	7
1.3.3. нитридни структури (12, 15)	8
2. Нови модели и методи.....	9
2.1. Модел за характеризиране и анализ (5).....	9
2.2. Техническо решение (3).....	9
2.3. Метод с образователна насоченост (13).....	10
2.4. Нови изследователски методи (11, 16).....	10

1. Изследвания на нови материали

Общият принос на работите в тази тема е свързан с изследването на нови материали(1,8,10,2,7,4,14) и структури(6,9,12,15), с потенциал за приложение в оптоелектрониката. В частност приноса на работите има отношение към: получаване на нови материали(1,8,6,10,2,7,4,14), създаване на теоретични модели(8,10,12) за описание/предсказване на свойствата на материала/структурата, създаване на нова технология(1,8,6,10,2,7), получаване на информация за свойствата и характеристиките на получените материали(всички работи). От една страна получената информация има принос за по-доброто разбиране на свойствата и характеристиките на материалите/структурите(всички работи), а от друга страна принос за подобряване на технологията(9,4,14,12,15) за получаване на нови материали/структури. В описаните работи е представен общият принос на всяка работа, като личният ми принос е отразен в края на всяка от тях. Личният ми принос най-общо казано се състои в: участие в изследването на нови материали, чрез измервания с оптични и/или електрични техники

Документ 14

за характеризирани, обработка и анализ на получените данни. Техниките с които имам принос са: за оптично спектрално характеризирани (фотолуминесценция, катодолуминесценция, Раманова спектроскопия, оптично пропускане) и за характеризирани на електричните свойства (специфично съпротивление, волтамперни характеристики). В някои от работите, са правени нискотемпературни измервания(9,15) в интервала $T=300 - 10$ K, с някои от гореизброените техники. В повечето от представените работи са използвани много и разнообразни експериментални техники за характеризирани, с изключение на (9,12,15) в които е ползвана по една експериментална техника. Моето участие в представените работи е с някои/и от изброените по-горе техники.

1.1. Въглеродни наноматериали (1, 8)

(1) Импулсно лазерно отлагане на тънки въглеродни слоеве върху подложки от SiO_2/Si

Направено е отлагане на тънки въглеродни слоеве върху подложки от SiO_2/Si , чрез импулсно лазерно отлагане(PLD) и получените слоеве са изследвани чрез рентгенова фотоелектронна спектроскопия, трансмисионна електронна микроскопия(ТЕМ), Раманова спектроскопия и елипсометрия. Процеса на отлагане е осъществен чрез лазерна аблация със Nd:YAG лазер(трета хармонична $\lambda = 355$ nm, ширина на импулса $\tau = 18$ ns и скорост на повторение 10 Hz) върху подложки от $320\text{--}420$ nm $\text{SiO}_2/(001)$ Si с площ на повърхността 15×15 nm². Процесът на лазерна аблация е проведен в два различни режима на отлагане: i) непрекъснат режим с време на отлагане 15–1800 s; и (ii) импулсен режим. Използвана е мишена от микрокристален графитен диск (OD 15 mm, дебелина 0.5 mm). Установихме, че слоеве съставени от графитни наночастици/зърна графен с дебелина от 5 до 30 nm са отложени с непрекъснатият PLD режим, докато слоеве съдържащи един до няколко-слоя нано-размерен графен са отложени чрез импулсен PLD режим. Някои слоеве имат ниско съпротивление ($\rho = (0.1\text{--}1.5) \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$) и са съставени предимно от sp^2 хибридиран въглерод с Раманов спектър, подобен на този на нано-размерен графен. Без значение на използвания PLD процес, ние наблюдавахме слой на интерфейса обогатен на sp^3 хибридиран въглерод, който може да бъде свързан със C—O, C—H и други интерфейсни връзки. Най-интересния резултат от наша гледна точка е постигнато възпроизводимо отлагане на един до няколко-слоя нано-размерен графен със специфичното съпротивление подобно на това на графен с добро кристално качество.

Измервания на специфично съпротивление и волтамперни характеристики на образците. Участие в анализа на резултатите.

(8) Двумерна полимеризация на графенов оксид: Подход отдолу-нагоре

Предложен е метод за синтез на графенов оксид чрез двумерна полимеризация, с подход отдолу-нагоре, за разлика от други предлагани методи с подход отгоре-надолу. Предложени са моделни морфологии и структури на решетката на графенови оксиди, като са получени от алдолна кондензация на редуващи се три нуклеофилни и три електрофилни центрове на бензентриол. Проведени са експерименти за доказване на

Документ 14

концепцията. Синтеза на графенов оксид от флороглуцинол в алкален разтвор е направен при две различни условия на разтвора. Структурата и морфологията на графенов оксид-подобните кристалити са изследвани с Раманова спектроскопия, XRD, AFM, XPS, SEM, TEM, електронна дифракция от селектирана област (SEAD), катодолуминесценция (CL) и MALDIT-OFF. При това за идентифицирането на графенов оксид е следено за изпълнението на списък от критерии. Оценения среден размер на нанолистовете GO, чрез AFM, е 700 nm^2 , което означава sp^2 хибридизирани графено-подобни острови. Резултатите от SEAD за синтезираният GO са в добро съответствие с решетъчните разстояния за графен, което говори за наличие на sp^2 домейни в синтезирания материал. Решетъчните константи на вторична кристална структура (наблюдавана и от други автори) на синтезирания GO, извлечени от TEM, са $a \sim 4,7 \text{ \AA}$ и $b \sim 5,9 \text{ \AA}$, които са в добро съгласие с преди докладвани данни. Базирайки се на катодолуминесцентните данни и зависимостта на ширината на забранената зона на GO от размера на sp^2 домейните, ние твърдим че тези домейни са с размери по-големи от 37 ароматни пръстена, което е повече от преди синтезирани графени от други автори. При сравнението на XRD данните с такива за химически ексфолиран графен, е наблюдавано добро съответствие, което говори за подобна структура

Представени са експериментални свидетелства за реализируемостта, дискусия, както и обща схема за предложената двумерна полимеризация на GO в подход отдолу-нагоре. Техническото решение от работа (3) позволи да се изследват получените материали в тази работа с катодолуминесценция.

Измерване на Катодолуминесцентни спектри на образците. Участие в обработката на получените спектрални данни, дискусиите и интерпретацията на резултатите от тях.

1.2. Наночастици и квантови точки (6, 9)

(6) Абсорбционни и транспортни характеристики на оксидни слоеве обогатени на Si отгряти при различни температури

Изследвани са тънки слоеве от SiO_x ($x = 1.15$, $d = 1$ и 2 \mu m), отложени чрез термично вакуумно изпарение на SiO върху n- и p-тип кристален Si или кварцови подложки, след което отгряти в пещ при 250, 700 и 1000 °C. Измерванията на оптично и инфрачервено пропускане потвърждават фазово разделяне при отгряване при 700 и 1000 °C и израстване на аморфни Si наночастици при отгряване при 700 °C. За оптичната забранена зона на наночастиците е получена стойност $\sim 2.64 \text{ eV}$. Използвайки експериментални данни за връзката между оптичната забранена зона и средния диаметър на Si нанокристали е определена стойност от 2.1 nm за средния диаметър на аморфните наночастици. Данните от трансмисионна електронна микроскопия с висока разделителна способност потвърждават израстване на Si нанокристали със среден размер $\sim 5 \text{ nm}$ в слоевете отгряти при 1000 °C. Данните от двата вида пропускане са използвани за оценка на обемното съдържание на наночастиците и са определени стойности от 0.2–0.25 и 0.25–0.30 съответно за слоевете отгряти при 700 и 1000 °C. Получените стойности са под фактора на запълване при който се наблюдава перколация в слоеве от Si-SiO₂ и следователно е заключено, че не се случва перколация в транспорта на токоносители през отгрятите слоеве. За да се изследват механизмите

Документ 14

на транспорт на токоносителите при всички образци са измерени волтамперни характеристики (при полета $>5 \times 10^4 \text{ V cm}^{-1}$) на структури метал/SiO_x/c-Si/метал. Те са приблизително симетрични, което е индикация, че във всички образци в транспорта през структурите доминира транспорта на токоносители през слоевете от SiO_x. Направено е заключение, че в слоевете отгряти при 250 °C транспортът на токоносители е ограничен от пространствен заряд в слоя. В слоевете отгряти при 700 °C, които съдържат аморфни наночастици е докладван транспортен механизъм на Poole-Frenkel, докато за слоевете отгряти при 1000 °C е предположен тунелен механизъм. Представената работата може да се обобщи, като получаване и характеризирание на нови силиций базирани нано материали за приложение в оптоелектрониката.

Участие в измервания на спектри на оптично и инфрачервено пропускане на образците и в обработката на получените данни.

(9) Изследвания на колоидни CdSe нанокристали приготвени с метод на горещо инжектиране в течен парафин чрез фотолуминесценция при ниски температури

В тази работа са описани резултатите от изследвания с фотолуминесценция (PL) при ниски температури на колоидни CdSe нанокристали приготвени чрез метод на горещо инжектиране в течен парафин. Синтезираните нанокристали са взети от реакционната смес след различни интервали време, като размерите на всички са в диапазона при който се наблюдава квантово ограничение, и показваха типичните зависимости от размера UV-vis абсорбция, PL и Раманови спектрални характеристики. Средният размер на нанокристалите (от 2.6 до 4.3 nm) е определен от UV-VIS спектрите на поглъщане и ТЕМ наблюдения. PL спектрите и техните температурни зависимости са измерени от стайна температура (295 K) надолу до 15 K, като демонстрират че екситонните PL преходи следват уравнението на Варшни. При температури под 100 K PL енергиите отклоняващи се от уравнението на Варшни и с наблюдавано платовидно поведение посочват включването на различни механизми свързани с динамика на релаксация на локализираните и ограничени носители. Активационната енергия на термично гасене под 100 K е относително малка, докато луминесценцията е силно гасена с нарастване на температурата над 100 K, което вероятно дава индикация за промяна в степента на локализация на носителите на заряд. Най-малките CdSe нанокристали (с размер 2.6 nm) изолирани в началото на нанокристалния растеж имат относително симетрично разпределение на размерите и показват единична екситонна линия на излъчване. Образците изолирани на по-късен етап от процеса на растеж показват отрицателно наклонено несиметрично разпределение на размерите, което е индикация, че механизма на растеж на нанокристалите може да се обясни с модела на узряването на Ostwald. Получените резултати се очаква да бъдат полезни за по-доброто разбиране на PL характеристиките на квантови точки, тяхното формиране и растеж в неполярни органични разтворители.

Участие във Фотолуминесцентните измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите.

Документ 14

1.3. Нитридни материали

1.3.1. разредени нитриди (10, 2, 7)

В тази група от три работи са изследвани три вида материали от семейството на разредените нитриди, а именно GaInAs(Sb)N, InGaAsN, GaAsSb:N. Получените резултати от тази група изследвания разкриват капацитета на течната епитаксия за израстване на разредени нитриди от типа Ga(In)As(Sb)N като обещаващ материал за фотоволтаични приложения. В този смисъл те допринасят за търсенето на алтернативни начини за получаване слънчеви клетки с по-висока ефективност.

(10) Оптични характеристики на дебели слоеве от GaInAs(Sb)N израснати чрез епитаксия от течна фаза

Представено е експериментално и теоретично изследване на слоеве от GaInAs(Sb)N с дебелина около 2 μm , израснати чрез епитаксия от течна фаза (LPE) върху подложки от n-тип GaAs. Образците са изследвани чрез спектроскопия на повърхностно фотонапрежение (SPV) и чрез фотолуминесцентна спектроскопия (PL). За зонната структура на Sb-съдържащи разредени нитриди е разработен теоретичен модел в рамките на полуемпиричния подход на силната връзка при $sp^3d^5s^*s_N$ параметризиране и е използван за пресмятане на електронната структура за различен състав на съединението. SPV спектрите измерени при стайна температура ясно показват червено отместване на ръба на абсорбция по отношение на абсорбцията на подложката от GaAs. Отместванията са в съгласие с резултатите от теоретичните изчисления получени за концентрации на In, Sb и N съответстващи на експериментално определените. Фотолуминесцентни измервания при 300 K и 2 K показват по-малко червено отместване на енергията на излъчване по отношение на GaAs в сравнение със SPV резултатите. Разликите са обяснени чрез опашка на бавни дефектни състояния под ръба на проводимата зона, които се сондират от SPV, но са по-малко активни в PL експеримента. Чрез Раманова спектроскопия е наблюдаван локален мод в интервала 440 до 460 cm^{-1} , което свидетелства за формирането на връзки In-N. Получените резултати допринасят за по-доброто разбиране на физичните свойства на разредените нитриди израснати със LPE и техния потенциал за оптоелектронни приложения.

Участие в Рамановите измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите. Участие във Фотолуминесцентните измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите.

(2) Експериментално изследване на влиянието на локалното атомно подреждане върху енергията на забранената зона на израснат от стопилка InGaAsN

В тази работа е представено изследване, на слоеве на разредени нитриди InGaAsN израснати от стопилка, чрез рентгенова фотоелектронна спектроскопия (XPS), Раманова и фотолуминесцентна (PL) спектроскопия. Целта на изследването е да определи степента на атомно подреждане в четворното съединение по време на епитаксиалния растеж при условия близки до термодинамично равновесие и тяхното влияние върху формирането на забранената зона. Въпреки ниската концентрация на In

Документ 14

(~3%) XPS данните показват силна преференция към In–N конфигурация на свързване в образците от InGaAsN. Рамановият спектър разкрива, че повечето от N атоми са свързани с In вместо с Ga атоми и формирането на клъстери от In_3Ga_1 с N атом в центъра. Резултатът е в съгласие с XPS измерванията. PL измерванията разкриват, че ефекта от това локално подреждане на микро-клъстери е нарастване на оптичната забранената зона спрямо съединения със случайно подреждане, а също разкриват наличието на опашки от локализиран състояние в близост до минимума на проводимата зона. Тези резултати са в добро съгласие с основни изводи от теоретичния анализ на други автори за съществуването на локално атомно подреждане в InGaAsN съединения, възникващи при равновесни условия, и влиянието му върху техните оптични свойства. Получените резултати допринасят за по-добра интерпретация на експерименталните резултати, получени в разредени нитриди израснати с течна епитаксия и по-добро разбиране на техните свойства.

Участие в Рамановите измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите. Участие във Фотолуминесцентните измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите.

(7) Изследване на обемни епитаксиални слоеве от GaAsSb:N израснати чрез епитаксия от течна фаза за фотоволтаични приложения

Представено е едно оригинално изследване на обемни епитаксиални слоеве от GaAsSb:N от гледната точка на фотоволтаични приложения на материала. Слоевите са израснати върху подложки от n-GaAs чрез нискотемпературна епитаксия от течна фаза (LPE). Израснатите слоеве от GaAsSb:N проявяват възпроизводими характеристики и добро оптично качество. За изследване на структурните характеристики, повърхностната морфология, локалната подредба и химичните връзки на Sb и N в получените съединения са използвани много експериментални методи включително рентгенова дифракция (XRD), енергетично диспергирана рентгенова спектроскопия (EDX), атомно силова микроскопия (AFM), рентгенова фотоелектронна спектроскопия (XPS) и Раманова спектроскопия. Съдържанието на Sb $x \sim 0.068$ в сплавта е определена с EDX и потвърдена от XPS измерванията. Съдържанието на N оценено от XRD измервания и прилагане на правилото на Vegard е $y \sim 0.001$. Повърхността на слоя е малко нагъната поради пластична релаксация със средно квадратична повърхностна грапавост от порядъка на 2.4 nm, определено от AFM. XPS спектъра ясно показва съдържанието на Sb и дава индикация за присъствието на слаб N 1s пик при ~ 398 eV съответстващо на много ниско съдържание на азот близко до границата на регистриране, най-вероятно около 0.1 at%. Рамановият спектър разкрива два остри GaAs-подобни пика: LO пик и забранен TO пик, а също и слаби локални вибрационни LVM пикове, свързани с внедряване на Sb и N в решетката на GaAs. Резултатът е в съгласие с XPS измерванията. Стойностите на ширината на забранената зона при стайна температура оценени от измервания на повърхностно фотонапрежение (SPV) и фотолуминесценция (PL) са в добро съответствие и са ~ 20 meV по-малки в сравнение с тези на референтни слоеве от GaAsSb. PL спектри измерени при различни температури (10–300 K) проявяват много слабо S-образно поведение на енергетичната позиция на

Документ 14

PL пика, което дава индикация за минимална локализация на носителите и говори за оптимално избрани технологични условия за растеж, които подтискат флукуациите в състава. SPV фазовите спектри показват огъване на енергетичните зони нагоре, и в посока на повърхността, и към интерфейса, с също така n-тип легиране на слоя. Получените резултати разкриват капацитета на LPE за израстване на обемни слоеве от GaAsSb:N с добро оптично качество.

Участие в Рамановите измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите. Участие във Фотолуминесцентните измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите.

1.3.2. нитридни слоеве (4, 14)

(4) Изследване на слоеве от InN израснати чрез молекулярно лъчева епитаксия върху подложки от GaN

Направено е изследване материала InN, от семейството на нитридите, който все се още се разработва. Той проявява, теоретично предсказано, много интересни свойства, някои от които са висока подвижност на електроните и малка ширина на забранената зона. Очевидно тези характеристики ще са полезни за създаването на нови оптоелектронни устройства. Получаването на тези нови материали е свързано с множество изследвания на характеристиките и решения относно технологичните стъпки на производство. За приложение във високоефективни слънчеви елементи например, трябва да се решават важни проблеми свързани с епитаксиалния растеж на материали с голямо решетъчно несъответствие. В настоящата работа са изследвани 5 образеца с дебелини на слоевете в интервала 150-750 nm. Направени са изследвания чрез Рентгенова дифракция (XRD), Раманова спектроскопия (RS) и фотолуминесценция (PL). Докладвани са резултати относно структурните и оптични характеристики. Забелязана е добра корелация между тяхното кристално качество и оптични характеристики. Най-добрите образци проявяват PL излъчване между 0.6 и 0.7 eV. Структурата на повърхността за различните образци е доста различна, което показва критичната роля на условията на растеж, които вероятно трябва да бъдат максимално оптимизирани за добра възпроизводимост.

Участие в Рамановите измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите.

(14) Микроструктура и характеристики на слоеве от InN

Изследвани са серия от слоеве от InN израснати чрез различни техники: хидридна газова епитаксия (HVPE), молекулярно лъчеви епитаксия (MBE) и металорганична епитаксия от газова фаза (MOVPE). Изследванията са направени чрез трансмисионна електронна микроскопия, фотолуминесценция и Раманова спектроскопия. Показано е, че поляризацията на слоевете се определя от долу лежащата подложка от GaN. В тези InN полярни слоеве, концентрацията на винтовите дислокации по оста *c* е малка, а на дислокациите от тип-*a* е голяма от порядъка на 10^9 cm^{-2} . Концентрацията на дислокациите има тенденцията да намалява към повърхността. В рамките на първите 0.5 μm , и по-специално в образците израснати чрез HVPE, наблюдаваме голям брой нарушения в подреждането, които вероятно съдействат за намаляване на

Документ 14

концентрацията на дислокациите. Оптичната забранена зона при MBE и MOVPE образците е между 0.6 и 0.7 eV, докато при HVPE подложките е над 1 eV. Оценки от Рамановите данни показват, че това поведение корелира добре с остатъчната концентрация на токоносителите.

Участие в Рамановите измервания, обработката на данните, дискусиите и интерпретацията на резултатите.

1.3.3. нитридни структури (12, 15)

(12) Влияние на структурните нехомогенности върху луминесцентните характеристики на множество нитридни квантови ями израснати чрез MOCVD

Изследвани са теоретично и експериментално енергиите на преходи в образец съдържащ множество квантови ями от GaN/InGaN израснати чрез MOCVD. Експерименталното изследване на структурата е направено чрез катодолуминесценция. За пикът от катодолуминесцентния спектър, който приписваме на оптични преходи в структурата е забелязано разцепване. За този тип структури има свидетелства от литературата, че грапавостта на интерфейсите е важен фактор, който влияе на оптичните характеристики, и се проявява като флуктуации в ширината на ямите. За да се провери тази хипотеза са пресметнати енергиите на оптичните преходи в структурата, като са отчетени тези флуктуации. Използваният теоретичен модел е в рамките на приближението на ефективната маса и е базиран на формализма на Т-матрицата. В работата е показано, че наблюдавания катодолуминесцентен пик може да се припише на преход $E1 \rightarrow HH1$ в структурата, а разцепването му може да се обясни с флуктуации на ширината на ямите. Работата спомага за по-доброто разбиране на свойствата и характеристиките на сложни наноструктури.

Техническото решение от работа (3) позволи да се изследва структурата в тази работа с катодолуминесценция.

Измерване на катодолуминесцентни спектри на образца, и участие в анализа на резултатите.

(15) Тунелни ефекти в напрегнати свръхрешетки от AlN/GaN с къс период

Изследван е електронния транспорт, като функция на температурата в напрегнати свръхрешетки от AlN/GaN с къс период. Разгледан е електронния транспорт като функция на температурата в I-V, G-V (първа производна dI/dV). Тока и проводимостта показват нелинеен осцилиращ характер. Проучени са механизмите на транспорт на тока в направление перпендикулярно на слоевете, като е наблегнато на еластичното и нееластично тунелиране през бариерите от AlN. Наблюдавана е отрицателна диференциална проводимост, което е индикация за присъствието на резонансни тунелни ефекти. Наблюдаваните характеристики са интерпретирани като последователно резонансно тунелиране през бариерите от AlN. Резултатите са важни, т.к. наличието на отрицателно диференциално съпротивление е основанието за различни предложения за компактни вълнови източници в под-милиметровата скала.

Документ 14

Участие в измервания на нискотемпературни волтамперни характеристики на образците и обработката на данните. Участие в моделиране на профила на проводимата зона на свръхрешетките.

2. Нови модели и методи

В тази група от работи най-общо казано научните приноси имат отношение към: създаване на нов модел за интерпретация на данните от експериментална техника(5), техническо решение за справяне със специфичен проблем в експериментална техника(3), разработване на експериментален метод с потенциал в сферата на образованието(13), разработване на нова изследователска техника(11,16) за характеризирание.

2.1. Модел за характеризирание и анализ (5)

(5) Векторен модел за анализиране на спектрите на амплитудата и фазата на повърхностното фотонапрежение приложен за сложни наноструктури

Представен е изчерпателен и надежден модел за анализ на поведението на спектрите на амплитудата и фазата на повърхностното фото напрежение (SPV) в различни материали и структури. В този подход SPV сигнала е представен като радиален вектор с големина равна на амплитудата на SPV сигнала и ъгъл спрямо оста-x равен на фазата на SPV. Този модел е особено полезен в изследването на сложни наноструктури, при които възникват повече от един SPV процеси по време на измерването на спектъра. Ценността на предложения модел е демонстрирана чрез успешно обяснение на привидно противоречивите спектри на SPV амплитудата и фазата на свръхрешетки от AlAs/GaAs с вградени квантови ями от GaAs, израснати върху различни подложки от GaAs. По този начин е получена важна информация за изследваните свръхрешетки с вградени квантови ями и е демонстриран потенциала на предложия модел за изследване на сложни полупроводникови наноструктури.

Направения анализ подчертава също нуждата от едновременно проучване, както на спектъра на амплитудата, така и на спектъра на фазата, за да се получи правилно разбиране на експерименталните данни. Тази работа изтъква потенциала на SPV спектроскопията за изследване на сложни наноструктури при стайна температура.

Участие в създаването на модела, развиването му и анализа на спектри чрез него.

2.2. Техническо решение (3)

(3) Лесен за реализиране вакуумен преходник за оптично влакно с конектори от тип SubMiniature version A от двата края

Представен е лесен метод за вмъкване на оптично влакно, с налични конектори от тип SubMiniature version A от двата му края, във вакуумна система. Предложият преходник е реализиран, монтиран и използван със сканиращ електронен микроскоп, при налагания надолу до 2×10^{-5} mbar за катодолуминесцентни измервания. Получените спектри на монокристал от GaN, които съответстват на данните в литературата, демонстрират работоспособността му. С малки модификации този

Документ 14

преходник би могъл да се адаптира за вмъкване на оптично влакно в системи под налягания поне до 1 atm. В допълнение преходника лесно се монтира и позволява лесна и бърза подмяна на оптичното влакно, в случай на повреда на влакното или нужда от работа с друго влакно. Работата дава лесно техническо решение за методи при които е нужно да се изведе оптичен сигнал от вакуумна система. Както рецензента от списанието споменава „Въпреки, че техническото решение е очевидно, в работата са описани ползваните материали и е демонстриран успеха на решението, работата ще е от полза за читателя“. Работата също даде възможност да се направят изследвания с катодолуминесценция в работи (8,12).

Участие във всички етапи: генериране на идеята, реализацията, тестване на преходника и написване на статията.

2.3. Метод с образователна насоченост (13)

(13) Лесен метод за определяне на плътността на зърнести материали

Представен е прост експеримент за определянето на плътността на зърнести материали, без да се потапят в течност, като са ползвани материали с ниска себестойност. Той се основава само на уравнението за състоянието на идеален газ, така че е подходяща експериментална задача за студенти и ученици. Представения метод успешно е използван да се определи плътността на зърнест разтворим материал, в конкретния случай на NaCl. Резултатите съответстват на литературните данни в рамките на грешката от около 4%. Работата има принос към образователната сфера. Отсъствието на елемента потапяне във течност прави метода подходящ за работа с разтворими материали. Задачата е използвана за подбор на ученици с най-добри експериментални умения в националният кръг на олимпиадата по физика 2011, които имат потенциал да участват на международна олимпиада.

Участие в конструирането/сглобяването на експерименталната установка и тестването на метода.

2.4. Нови изследователски методи (11, 16)

(11) Промени в отражението на материали предизвикани чрез електронен лъч

Демонстрирана е възможността да се комбинират предимствата на две добре известни експериментални техники – елипсометрия и сканираща електронна микроскопия (SEM) чрез теоретични изчисления, симулации и моделни експерименти. Елипсометрията има много висока чувствителност в посока нормална на повърхността на образеца, като страничната ѝ разделителна способност е ограничена от ширината на сондиращия лъч, докато сканиращата електронна микроскопия има по-добра странична, но ограничена разделителна способност в дълбочина. Електронният лъч може да предизвика локални промени в плътността на електроните и температурата на образеца, които променят коефициента на отражение и потенциално може да се детектира с оптични методи и в частност с елипсометрия. Чрез симулации е показано че индуцираните от електронния лъч промени в показателя на пречупване е възможно да бъдат детектирани експериментално с оптични методи и в частност с елипсометрия. Симулирани са

Документ 14

промените на елипсометричните ъгли Ψ и Δ и коефициентите на отражение R_p и R_s индуцирани от малки промени в показателя на пречупване при различни ъгли на падане и поляризация. Оценени са оптималните условия за детекция на оптичен сигнал за три групи материали: с реален показател на пречупване (стъкло), комплексен показател на пречупване (злато) и за слой с реален показател на пречупване върху подложка с комплексен показател на пречупване (SiO_2/Si). От точността на елипсометричните измервания са оценени минималните промени в показателя на пречупване, които са от порядъка на $\Delta n=0.002$ и $\Delta k=0.002$. Оценено е, че такива промени могат да се постигнат с промени в температурата ~ 20 K за полупроводници и ~ 200 K за метали и диелектрици, което е постижимо с електронно лъчево нагряване. Проведени са първоначални моделни експерименти за доказване на идеята. При единият експеримент, е нагряван слой Au/стъкло с променлив електричен сигнал, и е измервано отражението на пробен лазерен лъч (532 nm), чрез lock-in техника. При втория моделен експеримент, е използван полупроводников лазер (532 nm) да моделира нагряването от електронен лъч и друг полупроводников лазер (659 nm) за пробен лъч, а за тестови образци са ползвани Si и InP. Двата лазерни лъча са фокусирани в една точка чрез микроскоп с обектив x20. Първоначалните резултати показват, че регистрираните сигнали, близки до границата на регистрация, съответстват на промяна в температурата ~ 1 K при единия и ~ 10 K при втория експеримент. Потенциално приложение на комбинираната техника са изследвания на термичните и електронни характеристики на микро обекти. Друго потенциално приложение е употребата на оптичния канал на информация за визуализиране на термичните характеристики с микронна разделителна способност.

Консултации при дискусиите свързани с експериментите по темата.

(16) Елипсометрична детекция на предизвикани оптично и с електронен лъч промени в оптичните характеристики на материали

Тази работа е продължение на работа (11). Изследвана е възможността да се комбинират предимствата на елипсометрия и сканираща електронна микроскопия (SEM). Като цяло, ефекта на нагряване и/или инжектиране на заряди индуцирани от ускорени електрони, води до промени в показателя на пречупване. Изследвана е възможността да се детектират такива промени чрез оптични методи и в частност с елипсометрия. Направена е поредица от симулации и резултатите потвърждават, че може да се индуцира измерим сигнал, когато възникне топлинен ефект в образеца, чрез нагряване от лъч или топлинен източник. При симулациите е изследван ефекта от електронно лъчево нагряване на материал с размери в микронната скала, като е решавано 3D уравнението на топлопроводността. Показано е, че с постижими мощности на лъча и добре фокусиран лъч е възможно да се постигнат достатъчно високи промени на температурата от порядъка на 500 K. Оценено е, че относителната промяна на коефициента на отражение от температурата е от порядъка на 10^{-5} K^{-1} , което означава, че ако се ползва lock-in техника, дискутираните относителни промени в отражението, предизвикани от температурни промени може да се считат за измерими. Оценки от симулациите за влиянието на размерите на нагряващия и пробният лъч върху генерирания сигнал, показват измеримост на сигналите. Базирайки се на тези

Документ 14

резултати и от работа (11), са проведени моделни експерименти с две установки за потвърждение на резултатите от симулациите. Установките са описани в работа (11), като тук са модифицирани с цел подобряване на резултатите. Експерименталните резултати като цяло потвърждават, чувствителността на коефициента на отражение към топлинно индуцирани локални промени на оптичните характеристики, макар и все още близо до границата на регистрация. Така трябва да се отбележи, че заслужава да се продължи изследването с нови, по реалистични експерименти, като например измерване на оптичния отклик във вакуум и преминаване към измерване на елипсометричните ъгли вместо на коефициента на отражение.

Консултации при дискусиите свързани с експериментите по темата.