

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд

представен за присъждане на образователната и научна степен „доктор“ по професионално направление: 4.1. Физически науки ; специалност: „Електрични, магнитни и оптични свойства на кондензираната материя“

Докторант: Димитър Людмилов Лютов

Тема: Елипсометрия на микро- и наноструктури

Научен ръководител: проф. дфзн Стоян Русев

Рецензент: доц. д-р Анна Мария Секереш, Институт по физика на твърдото тяло-БАН, член на жури съгласно заповед на Ректора на СУ № РД 38-344 от 22.05.2018г. и рецензент съгласно протокол 1 от заседание на научното жури

1. Кратка биографична справка

През 2013г. Димитър Лютов завършва висшето си образование с присъдена магистърска степен във Физическия факултет на СУ “Св. Кл. Охридски”. В периода от 01.09.2013г. до 01.09.2016г. е редовен докторант към катедра „Физика на твърдото тяло и микроелектроника“ към Физическия факултет под ръководството на проф. дфзн Стоян Русев. След отчисляването му с право на защита Д. Лютов от 28.10.2016г. започва работа като асистент в катедра „Обща физика” на Физическия факултет, СУ “Св. Кл. Охридски”, където работи и до днес.

2. Общо описание на представените материали

Представените за рецензиране материали включват всички документи, необходими за придобиване на образователната и научна степен „доктор“. Дисертацията и авторефератът са дадени на хартиен носител и в електронен вид. В електронен вид са приложени и следните документи: 7 броя административни документи; списък с общо 8 научни публикации на Д. Лютов и електронни отпечатьци на 5 публикации, включени в дисертационния труд.

Дисертацията написана на общо 165 страници и са дадени 97 фигури, 10 таблици, списък на научните публикации включени в дисертацията и на 124 библиографични цитата.

Авторефератът е изготвен съгласно изискванията и напълно отговаря на съдържанието на дисертационния труд.

Петте публикации (А1-А4, Б1), на които се основава дисертационният труд, са отпечатани в реномирани научни списания, като 4 от тях са в списания с импакт-фактор (А2,А3 - 0.23, А4 - 0.835, А1 - 2.084) а една (Б1) има импакт ранк 0.45. Отбелязано е едно цитиране от чужди автори на статията А1. От списъка на съавторите (преобладаващо 7 души) се вижда, че докторантът е на първо място в 3 публикации и на второ в останалите две. Това показва, че той заема водещо място в изследователския колектив и приносът му в тези публикации е съществен. Тъй като публикациите отразяват представените в дисертацията оригинални изследвания и резултати, това доказва, че приносът на докторанта към дисертационния труд несъмнено също е съществен.

3. Общо описание на дисертационния труд

Дисертацията се състои от Увод, 6 глави, Заключение, Приложение А и Б, списъци на използваната апаратура, на научните публикации на докторанта и на използваната литература. Дисертацията е технически добре оформена и е логично построена.

В уводната част накратко са дадени областите на приложение на елипсометрията, нейните предимства и недостатъци. Изтъкнато е, че с цел да се подобри латералната разделителна способност на елипсометрията се разработват други методи, използващи принципите на елипсометрията, такива като визуализираща-, фокусираща-, микро-елипсометрия и други. Именно „Подобряване на латералната разделителна способност на поляризационните оптични методи в частност – елипсометрията” е поставена като цел в дисертацията и задачите за постигането ѝ са ясно формулирани.

Общата част на дисертацията се състои от три глави (**Глава 1,2, и 3**), в които са разгледани необходимите методи и техники, имащи отношение към поставената цел и задачи. Литературният преглед обхваща 113 библиографични цитата, от което мога да заключа, че докторантът много добре е запознат с проблематиката на новите направления в елипсометрията и възможността за оптична детекция, базирана на отражение в сканиращ електронен микроскоп, за която има много малко литературни данни. Около 90 % от цитираните публикации са за периода от 2000г. до днес, което също свидетелствува за актуалността на тематиката на дисертационния труд.

В **Глава 1** е направен преглед на фототоплинните методи, базирани на фотоотражение и фотопреминаване. Кратко е описана работата на фототоплинния микроскоп и появата на миражен ефект. **Глава 2** е посветена на елипсометрията. Разгледани са основните уравнения на елипсометрията и са описани правата и обратната задача на елипсометрията в случаите на еднослойна и многослойна структура. Направен е обзор на съществуващите елипсометрични апаратури. Кратко е описан принципът на работа на нулев, форометричен и конвенционален елипсометри, които са с ниска латерална разделителна способност. По-подробно са описани елипсометри от ново поколение, при които е възможно подобряването на латералната разделителна способност. Дискутирано е взаимодействието на поляризираната светлина с частици и по-специално с частици с размери много по-малки от или равни на дължината на светлинната вълна. В **Глава 3** е разгледан методът на сканираща електронна микроскопия. Предимство на този метод е, че при електронен лъч разделителната способност е от порядъка на 1 нм. Новото поколение на електронни микроскопи позволява комбиниране на различни методи за получаване на информация за свойствата на образца. Разгледана е комбинация на сканираща електронна и оптична микроскопия с оптична детекция, базирана на отражение. Дискутиран е и топлинния ефект при взаимодействието на електронния или лазерния лъч с образца.

Специалната част на дисертацията се състои от три глави (**Глава 4,5, и 6**) в които са представени технически, експериментални и теоретични разработки на докторанта. Те накратко могат да се формулират като разработка на технология за получаване на тестови образци, разработка на елипсометрична апаратура с подобрена разделителна способност, нов подход за решаване на обратната задача при прозрачни системи и конструиране на нов модул за оптична детекция в сканиращия електронен микроскоп. Проведени са теоретични и експериментални изследвания за потвърждаване на разработените от докторанта методи. Необходимо е да се отбележи, че цялата научна и научно-приложна дейност на Д. Лютов е проведена в България, използвайки наличните апаратури в различни институции в България.

В **Глава 4** е описана технологията на получаване на тестови образци. Докторантът правилно избира среброто като тестов материал в експериментите на настоящата дисертация, тъй като то има установена кристална структура и добре изучени оптични свойства дори и на сребърните частици с микро- и нано-размери. Предложен е прост химичен метод за получаване на квазидвумерни сребърни частици с много добра кристалинност при реакцията

на метол и сребърен нитрат. Проведени са серия експерименти за установяване на оптималните условия за получаване на сребърни микро-частици с подходящи размери за по-нататъшните експерименти. Резултатите от рентгеновия микроанализ и трансмисионната електронна микроскопия потвърждават, че получените по такъв начин тестови микро-частици са сребърни монокристали с кубична стеноцентрирана решетка.

Глава 5 е посветена на разработката на установки за микроелипсометрията. Предложено е ново аналитично решение на обратната елипсометрична задача за случая на прозрачен слой вграден в прозрачна среда за да се изключат грешките поради отразената или разсеяната светлина от подложката. Валидността на предложени математически подход е потвърдена с експериментални измервания на системата вода и глицеринов разтвор. По-нататък са описани предложените разработки на два типа установки на микроелипсометрия, при които се комбинират оптичните елементи на елипсометър с микроскоп и са демонстрирани експериментално предимствата и недостатъците на всеки от тях. Предложен е и нов подход за измерване на микрочастици, като те се вграждат в прозрачна среда. По такъв начин се детектира единствено отразената светлина от микро-образеца. В случая когато и микрочастиците са прозрачни, при анализ на елипсометричните данни може да се прилага гореспоменатото ново аналитично решение на обратната елипсометрична задача.

В Глава 6 е разгледана възможността за практическа реализация на оптична детекция в сканиращ електронен микроскоп. Проведени са теоретични симулации за образците от обемни Si, Au, Ag както и от тънки слоеве от Au и Ag за да се намерят оптималните параметри за мощността на електронния лъч. Направени са теоретични симулации и на оптичния отклик за единица изменение на показателя на пречупване и за единица изменение на температурата за еднофазна система (стъкло K8 с реален показател на пречупване и обемен образец от злато и сребро с комплексен показател на пречупване) и за двуфазна система (Si подложка с комплексен показател на пречупване покрита със слой силициев диоксид с реален показател на пречупване) като се проследяват промяната в елипсометричните ъгли и коефициента на отражение. Разработени са многобройни конфигурации за детектиране на промяна на коефициентите на отражение $\Delta R/R$ и на преминаване $\Delta T/T$. Проведено е предварително тестване на експериментални установки за термо- и фотоотражения. На базата на направените по-горе теоретични и експериментални изследвания е конструиран модул за оптична детекция и е вграден в сканиращ електронен

микроскоп. Показано е, че комбиниране на елипсометрията със сканираща електронна микроскопия успешно може да се приложи за изследване на реални микро-размерни обекти.

4. Актуалността на тематиката на дисертационен труд

Нанонауките и нанотехнологиите все повече се нуждаят от методи за изследване на микро- и наноразмерни обекти. Един от тези методи е елипсометрията, която има изключително добра разделителна способност по дълбочина и позволява да се изследват тънки слоеве с различни дебелини от няколко микрона до десети от Ангстрьома. Поради ниската латерална разделителна способност на конвенционалните елипсометри (тя е ограничена с размера на светлинния сноп върху образеца), обаче, микро- и нано-размерните образци не могат да се изследват. Ето защо в последните години интензивно се търсят начини за подобряване на латералната разделителна способност на елипсометрията. Няма съмнение, че тематиката на дисертационния труд „Елипсометрия на микро- и наноструктури” е актуална. Дисертацията се концентрира върху разработката на нови прототипи на микро-елипсометрична апаратура с подобрена латерална разделителна способност. Реализираните разработки са тествани със сребърни микро-частици, синтезирани по нов химичен метод предложен от докторанта. Предложената технология би могла да се използва за създаване на сребърни микрокристали като изходен материал за изграждане на различни структури и компоненти в плазмониката. Научно-приложните разработки в дисертацията разширяват областта на приложение на елипсометрията и осигуряват изучаването на отделни микро-обекти, което не е възможно с конвенционална елипсометрична апаратура. Проведените теоретични и експериментални изследвания допринасят за получаване на нови знания в областта на материалознанието и физиката на твърдото тяло. От тази гледна точка тематиката на дисертацията е несъмнено актуална както в научно така и в научно приложно отношение.

5. Характеристика на приносите на дисертационния труд

Приносите на дисертацията са основно научно-приложни и могат да бъдат квалифицирани като разработване на нови технологии и нови видове апаратури и получаване на нови данни за материали чрез тяхното приложение. Посочените в дисертацията научни и приложни

приноси правилно отразяват постиженията на докторанта. Според мен най-важните приноси са следните:

1. Разработени са нови прототипи на микро-елипсометрична апаратура с подобрена пространствена разделителна способност спрямо конвенционалните елипсометри. Предложените подходи и разработки на апаратури за микроелипсометрия представляват практически интерес на първо време за различни изследователски лаборатории. Описанието и експериментирането на тези установки може да послужи като ръководство за построяване на такива установки.

2. Предложено е ново аналитично решение за обработка на елипсометричните данни в случая на прозрачен слой, вграден в прозрачна среда. Предложен е и нов подход за елипсометрично измерване на микрочастици, като те се вграждат в прозрачна среда. По такъв начин се елиминира влиянието на подложката и, следователно, намаляват грешките на измерване.

3. Предложено е комбиниране на елипсометрията със сканираща електронна микроскопия. Чрез теоретични изследвания са установени оптималните условия за оптичната детекция на промените, предизвикани от електронния лъч. На базата на това е разработен модул за оптична детекция като нов канал за информация в сканиращата електронна микроскопия в допълнение към използвани канали на информация на микроскопа. Модулът е разработен в конфигурации на отражение и на преминаване на пробния лъч. Изследвани са реални структури със сканиращ електронен микроскоп и с разработения модул за оптична детекция.

6. Забележки

Като цяло имам добро впечатление относно оформлението на дисертационния труд, но голямото количество разработени и описани апаратури внасят известна претрупаност на дисертацията. Няма специален раздел за приносите на докторанта, а те са изложени накратко като Заключение. Номерацията на фигурите и таблиците в автореферата не съответства на тези в дисертацията. Има незначителни печатни грешки както и технически грешки например: в дисертацията на стр. 99 в текста „..... „дупчеста“ структура – вж. 53” липсва пред 53 думата фигура; на стр. 135 липсва фигура 82б, очевидно поради грешка на отпечатването, но за съжаление тази фигура не се коментира в Автореферата. Параграф 6.3.2.2. от

дисертацията е описан в автореферата, но под грешен номер 6.3.2.1. Забележките ми, обаче, ни най-малко не намаляват научната и приложна стойност на представения дисертационен труд.

7. Заключение

Въз основа на гореизложените оценки на представения дисертационен труд уверено считам, че Димитър Людмилов Лютов се е утвърдил като млад учен, притежаващ задълбочени теоретична физическа и математическа подготовки и изявено инженерно мислене, които допринасят за провеждане на самостоятелни изследвания. Дисертацията е на високо научно ниво и надвишава изискванията за присъждане на образователната и научна степен „доктор“. Всичко това ми дава основание да препоръчам на уважаемото Научно жури към Физическия факултет на СУ „св. Кл.Охридски“ да присъди на Димитър Людмилов Лютов научната и образователна степен „доктор“ по професионално направление 4.1. Физически науки.

София

04.07.2018г

Рецензент: