

Рецензия

за дисертацията за научна степен „доктор на науките“ по
професионално направление 4.1. физически науки

Автор на дисертацията: доц. д-р Стоян Христов Русев

Тема: Елипсометрия – апаратура, обратна задача и някои приложения

Рецензент: проф. д-р на физ. н. Иван Йотов Лалов, Физически факултет
на Софийски университет „Св. Климент Охридски“

Дисертацията е посветена на развитие на експерименталната и теоретична база на елипсометрията и на приложението на тази методика за изследване на оптичните свойства, структурата и други свойства на слоеве и материали, важни за оптиката, електрониката, биофизиката и др. Елипсометрията е основна тематика в изследванията на автора. Тази дисертация продължава и задълбочава изследванията, включени в дисертацията за степента „доктор“, защитена от Ст. Русев през 1991 год. Научните резултати, получени в следващите 20 години, са публикувани в най-авторитетни и специализирани научни списания и са изложени в рецензираната дисертация. Те характеризират автора като висококвалифициран и ценен експерт по елипсометрия и нейните приложения.

Елипсометрията е добре известна оптична методика, сравнително достъпна и информативна за изследваните материали. Както другите опитни методики, тя получи нов импулс с развитието на лазерната физика, електрониката и компютърните методи, позволили дълбока и експресна интерпретация на експерименталните данни. Затова темата на дисертацията е съвременна, а цитираната литература от почти 300 заглавия на монографии и статии показват високата ерудиция и, ще повтора, голямата задълбоченост на автора при третиране на научни проблеми по развитие на методиката и нейните приложения за решаване на сложни научни задачи.

Съдържание на дисертацията

Дисертацията съдържа 7 глави и е написана на 264 страници с почти 120 фигури. Първата глава е уводна и съдържа изложение на правата и обратната елипсометрична задача и на елипсометричната апаратура. В гл. 2 и гл. 3 се съдържат приносите за усъвършенстване на елипсометричната апаратура. В гл. 2 е предложен и реализиран елипсометър от фотометричен - нулев тип, като режимът на работа може да бъде бързо превключван, включително при изследвания с фиксирана дължината на вълната (лазер) и в определен спектрален диапазон. Показани са предимствата на комбинирания елипсометър (изключване от анализа на нулевия хармоник,

изключване на необходимостта от допълнителна калибровка и др.). Впечатлява предложението за ускоряване на компютърната обработка и на Фурие-анализа на получените експериментални данни.

В гл. 3 е направен анализ на качествата на елипсометрични еталони, използвани от автора и от други групи, и са предложени и реализирани еталони от нов тип. Разгледани са елипсометрични стандарти, основани на двуфазни системи, преди всичко от металите Al, Pt, Rh, а също – на трифазни системи, които съдържат оксиден или метален слой върху подложка от топен кварц. Като обещаващ елипсометричен стандарт при големи ъгли на падане е характеризирана най-широко изследваната комбинация SiO_2 / Si . Важен принос в дисертацията е теоретичният анализ и реализирането на едномерен фотонен кристал от повтарящи се слоеве (14 или 27) $\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2$, макар основното внимание да е концентрирано върху възможността той да се използва като елипсометричен стандарт.

В гл. 4 и гл. 5 се дават намерените от автора решения на обратната елипсометрична задача, т.е. от измерените експериментално елипсометрични данни да се определят оптичните характеристики и дебелините на слоевете или оптичните характеристики на подложката. Със значителни усилия Ст. Русев в гл. 4 успява да сведе задачата до намиране на решенията на полином от пета степен, което определя прогреса спрямо предишните изследвания. Намерените решения и техният анализ се отнасят до четири интересни за изследванията на материалите случая. Анализирани са няколко подхода за използване на получените полиномиални решения при многократни измервания (в зависимост от външни условия или в процесите на израстване на слоевете).

В гл. 5 обратната елипсометрична задача се третира с методите на комплексния анализ, като се намират оптичните характеристики на слоеве и подложката при различни дебелини на слоя (слоеве) и при различни физически ситуации, т.е. различни комбинации от слоеве, различни подложки и др.

Теоретичните изследвания на обратната елипсометрична задача демонстрират много доброто познаване и практическо използване на апарата на висшата алгебра и комплексния анализ.

Последните две глави от дисертацията са посветени на приложенията на елипсометрията в съчетание с други методики за изследване на интересни и важни структури. В гл. 6 това са пет типа твърдотелни структури, за които чрез изследване на оптичните свойства е получена информация за кинетиката на процесите, качествата на образците и др. Впечатлява компетентността на автора при разглеждане на разнородни изследвани обекти.

Като изследване на физичните свойства и структурата на важни материали най-интересна е гл. 7. В нея чрез елипсометрия на течна повърхност (само по себе си много сложна задача) се получава

информация за кинетиката и подреждането на няколко типа слоеве от органични материали – арахидна киселина, PDA и PDA-UR, β -казеин и др., формирани върху водна повърхност, а в някои случаи, съчетана със слоеве от масло и др. Всъщност статиите, в които са изложени резултатите от изследванията в гл. 7 са най-цитираните от публикациите – основа на дисертацията (повече от 120 цитирания). В повече от изследванията елипсометричната методика има решаваща роля за научните резултати, а при нейното прилагане се използват апаратурата и теоретичните анализи, развити в първите две части.

Позволявам си да коментирам и т. нар. „резонен въпрос“ (стр. 207) приложими ли са макропараметри като показател на пречупване за монослоеви и даже за субмонослойни покрития? Очевидно става дума за двумерни слоеве, към които методите на елипсометрията са допустими и информативни, но, вероятно във всеки конкретен случай е необходима интерпретация, базирана на отражение от т. нар. „преходен слой“, а не от макрообект (в най-благоприятния случай от макрообект с двумерна структура). Поради това прилагането на макропараметри при монослоеви трябва да се прави след допълнителен анализ. Добър пример в тази насока са изследванията по адсорбция на β -казеин, при които се разглежда отражение от еднослоен и двуслоен модел. Тези изследвания, заедно с нетрадиционния модел на Ленгмюрови слоеве от PDA-UR, оценявам най-високо.

Основни приноси в дисертацията

А. Усъвършенстване и конструиране на елипсометрична апаратура

1. Предложен е и е реализиран елипсометър от комбиниран тип, като са демонстрирани неговите качества, приложимост и възможното подобряване на програмното осигуряване.
2. Анализът на качествата на елипсометричните стандарти представлява самостоятелен принос. Направени са препоръки за тяхното използване. За пръв път е предложен многослоен еталон от типа едномерен фотонен кристал от периодични слоеве $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$.

Б. Нови решения на обратната елипсометрична задача

3. Намерени са полиномиални решения (от пета степен) в четири случая, като получените теоретични резултати са приложени и анализирани за реалистични моделни системи (при еднократни и многократни елипсометрични изследвания).
4. Чрез методите на комплексния анализ е показано, че обратната елипсометрична задача може да се реши чрез измерване на оптичния отклик на изследваната система за слоеве с различни дебелини. По тази методика се получава разширена информация, в сравнение с конвенционалната елипсометрия, за двата обобщени

френелови коефициенти (а не за тяхното отношение) и за разликата в техните фази.

В. Приложения на елипсометрията за изследване на реални структури

5. Елипсометричната апаратура и предложените решения на обратната елипсометрична позволяват, в сътрудничество с различни изследователски групи, да се изследват оптичните свойства, дълбочината и профила на разпределение на йони, кинетиката на химични процеси и др. за интересни структури:
 - а) сулфадизация на сребро в атмосфера на сероводород;
 - б) изтъняване на слой върху въртяща се подложка;
 - в) възникването и оптичните свойства на златни клъстери в композитни материали;
 - г) структура Ta/GaAs, подходяща за Шотки фотодиоди;
 - д) образци от PMMA, подложени на йонна имплантация със Si йони
6. Методите на елипсометрията играят важна роля при изследване на кинетиката и структурата на слоеве от няколко типа органични съединения, отложени върху течна повърхност. Сложните задачи при елипсометрия от такава повърхност позволяват да се получи информация за процесите на формиране и еволюцията на слоевете, за уравнението на състоянието и др. Резултатите от тези изследвания са широко цитирани от научната колегия, която работи в тази област, и като физика са най-интересни.

Публикации, на които се основава дисертацията

Резултатите, изложени в дисертацията, се съдържат в общо 30 статии, от които 21 са в списания с IF, 2 – в национални списания и 7 представляват доклади на конференции, публикувани в пълен текст. Публикациите обхващат периода 1994 – 2013 год. Както бе изтъкнато, научните списания, в които са публикувани статиите, съответстват на тематиката и имат висок IF, който за всичките 21 статии има сума 55,541. Тези статии събират общо 168 независими цитирания, което демонстрира значителното място на изследванията на автора в тази научна област. Ще отбележа, че най-голям брой цитирания събират публикациите за изследване на органични слоеве върху течна повърхност.

Публикациите са от различни авторски колективи с участие на български и чужди изследователи. Големият брой публикации от български колективи показва сериозните резултати в групата по елипсометрия от Физическия факултет на СУ.

Коментари и препоръки

Дисертацията е написана професионално и се чете сравнително леко. Оформянето ѝ е добро, въпреки че съдържа граматични грешки (които биха могли да се избегнат), а някои номерации на фигури и формули са неточни – очевидно, резултат от използване на номерацията в предишни статии или варианти на дисертацията.

Като автор на публикации по отражение от оптично активни среди, бих препоръчал методите за анализ на елипсометричните данни да бъдат приложени и за случаите, когато подложката или слоя въртят равнината на поляризацията. Макар оптичната активност да усложнява анализа, тези разглеждания биха разширили кръга на изследваните при елипсометрията вещества, особено при органични материали.

Заклучение

Дисертацията и публикациите, на които тя се основава, показват сериозна и задълбочена научна активност със значителни резултати, получили признание на научната област чрез многобройни цитирания. Заслужава да се оцени разностранната насока на изследванията, както в усъвършенстване на апаратурата и методите на теоретичен анализ, така и в подбора и в получената информация за изследваните вещества.

Дисертацията характеризира Ст. Русев като изграден учен и ръководител на научна група със сериозни постижения.

Качествата на дисертацията, публикациите и тяхното отражение в научната литература, а също – моите лични впечатления, представляват солидна аргументация на моята препоръка към уважаемото научно жури да присъди на доц. Ст. Русев научната степен „доктор на науките“ по направление „Физични науки“

30.12.2014 год.,
София

Рецензент:
проф. д-р на физ.н. Иван Лалов