

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационния труд „Израстване и изследване на тънки слоеве за приложение в микроелектрониката и космическото приборостроене“ на *доц. д-р Корнели Григориев Григоров* за получаване на научната степен „доктор на науките“ в област на висшето образование 4. Природни науки, математика и информатика; професионално направление 4.1. Физически науки; научна специалност „Структура, механични и термични свойства на кондензираната материя“.

Рецензент: **Георги Михайлов Младенов**, д.физ.н., професор, чл.-кор. на БАН

### 1. Общи положения и биографични данни

Доц. д-р Корнели Григоров е роден през ноември 1960 г. в гр. София. Завършил е Минно-геоложкия университет през 1984 г.-специалност „физика и геофизика“. През 1984-1985 г. работи като инженер в ИЕ БАН, а през 1985-1986 е на специализация в Института по физика на ПАН. Получил е научната и образователна степен д-р ( ph.D степен) през 1990 г. в Полша, във Варшавския Технологичен университет - Институт по микроелектроника и оптоелектроника. Дисертацията му е на тема „Ефект на облъчване върху параметрите на МОС структури“. През 1991 г. работи в ИЕ БАН; през 1992-1993 г. е „post-doctoral“ изследовател в Института по фундаментална електроника на Университета Париж-Юг. През 1993 г. е избран за н.с.ІІ степен в ИЕ БАН. През 1995-1997 г. е гост-изследовател в Лабораторията по електронна спектроскопия към Университета в Намур, Белгия. През 1998-1999 г. е гост-изследовател в Център по изследвания на свойствата на интерфейси и катализа на Университета Лавал в Квебек, Канада. От 1999 до 2001 г. работи като н.с.І ст. (главен асистент) в ИЕ БАН, а през 2002-2003 г. работи като старши гост-изследовател в Института по технологии и аеронавтика, Sao Jose dos Campos, Бразилия. През 2003 г. е отново в ИЕ БАН, където е избран за ст.н.с.ІІ ст (сега доцент) и като такъв работи и през 2004 г. През 2005-2006 г. е отново в Бразилия, в Института по технологии и аеронавтика, след което през 2007 г. е гостуващ професор в Лаборатория по силни магнитни полета в Дрезден, Германия. През 2008-2010 г. е поканен професор в Института по технологии и аеронавтика, Бразилия. От 2012 г. до сега работи на научната длъжност доцент в Института по космически изследвания и технологии на БАН.

Доц. д-р К. Григоров е посочил като отразени в дисертацията 26 публикации на статии в научни списания (включително 2 публикации, докладвани на IEEE симпозиум) както и 1 доклад на национална конференция в бившата ГДР и 2 глави от научна книга. Представен ми е списък от 47 цитирания на 4 работи, включени в дисертационния труд (3-14 цитата; 5-17 цитата; 12-15 цитата и 14-1 цитат). Работата 12 е наградена с награда „Акад. Е. Джаков“ - като най-добра работа по радиофизика и електроника през 2011 г. Рецензентът забеляза допълнително още 24 цитата на работа 5, както и 4 цитата на работа 1 (номерата тук са по авторския списък на отразените в дисертацията работи); 4 цитата на работа 4; 3 цитата на работа 26 ; 11 цитата на работа 27; 1 цитат на работа 8; 2 цитата на работа 11 и 1 цитат на работа 17.

### 2. Общо описание на дисертацията

В първа глава от дисертацията на 14 страници са разгледани процесите на разпределение на отложената енергия и уплътняването на слоеве при нанасянето им с физическо парно отлагане, придружено от йонно асистиране. При ниски температури на подложката и на отлагания слой, енергията на асистиращите отлагането йони (на инертен газ или на една от участващите в изграждането на слоя компоненти) позволява на частиците от горните слоеве на израстващия тънък слой да заемат енергетически по-изгодни позиции, с което структурата на слоя се уплътнява. Отместването на тези

частици става в резултат на нееластичните удари между ядрото на падащата частица и една от частиците на израстващия слой, при които е предадена достатъчна за отместването енергия. Дисертантът демонстрира познаване на универсалната теория на Линхардт, Шиот и Шарф (LSS) за разпръскването с йони и на приносите на Зиглер, Бирсак и Литмарк при пресмятане на спиращата способност и пробезите на йони в бомбардирани от тях мишени. Дисертантът приема, че при йонно-асистирано отлагане на тънки слоеве те „с максимална плътност ще бъдат отложени, ако средната енергия (предадена) на атом от външния слой с дебелина от 1-2 константи на решетката...е от **порядъка** на активационната енергия  $W$  на процеса на прегрупиране“ (стр.14, болт-шрифта е мой). Този критерий за оптимизиране на плътността на слоевете не е проверяван. Приема се, че порцията предавана енергия на атом от слоя следва да е по-голяма от праговата енергия за отместване (приемана обикновено като 25 eV, а отдавани енергии под 25 eV се превръщат в топлина). Допълнително допускане(стр.19) е, че  $M_a/M_i \leq 2$  т.е. авторите предлагат модел, отнасящ се само за близки по маса атоми и йони.

Даден е илюстративен пример за йонно-асистирано отлагане на тънък слой от BN, понеже за него е имало пример в литературата, където са симулирани концентрационни дълбочинни профили и дълбочинни профили на отложената енергия за 2 енергий на бомбардиращия азот и 2 съотношения на потока на ускорените азотни частици и потока от нискоенергийните неутрала на В. На фиг.1.1 и фиг.1.2 дълбочинните профили на азот съвпадат при двата подхода на получаването им. Дебелината на зоните в които нараства азотното съдържание и нараства отложената енергия (на отместване) на атом , отдавана от бомбардиращите азотни йони при 500 eV е 28 Å и при 128 eV е около 16Å.

**Втора глава** е написана на 31 стр. В нея се демонстрира професионално използване на анализ на слоевете с рентгенова дифракция и с Ръдърфордско обратно разсейване(RBS). Главата започва с изследване на 3 образеца от  $YBa_2Cu_3O_{7-x} / SrTiO_3$ , два от които са отгрявани в кислородна среда с налягане 700 mbar, единият от които за един час, а втория-в продължение на 20 минути. Третият е отгряван без кислород и не е свръхпроводящ, поради ниското съдържание на кислород. Авторът говори,че това са типове образци, но от текста не личи по нищо, че те са повече от един от всеки тип. Рецензентът не намери в дисертацията температурата на отгряване на образците, която е съществен параметър. От данни от RBS спектри и прецизна рентгенова дифракция са потвърдени известни от литературата данни за ролята на кислородното съдържание и за високото качество на получаването на купратни свръхпроводящи слоеве с балансирана DC магнетронна система с of-axis разположение на подложката. Авторът отбелязва, че не е наблюдавал изменение на пълната ширината при половината на максимума (FWHM) на XRD спектри на YBCO (002) пикове на отражение за слоеве с различно кислородно съдържание, но се наблюдава отместване към по-малките ъгли (съответно пресметнатите константи за с-параметъра са 11,67; 11.68 и 11.75 Å), което е свързано с увеличаване на параметъра с на кристалната решетка и с наличие на ваканции на кислород. При дълбочинен профил на образците се наблюдава около 20 nm дебел интерфейсен слой на границата на слоя с подложката, който не притежава желаните свръхпроводящи свойства, поради нарушена стехиометрия и структура. За изследванията с RBS в дисертацията до т.3.5.1-стр. 129 (по-конкретно във втора глава) ще посочим, че авторът не посочва ъгълът на който е разположен детектора на обратно отразените хелиеви частици, макар, че в използваната програма той се е въвеждал навсякъде.

Втората анализирана структура във втора глава е сандвич от манганатен феромагнитен слой от  $La_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$  и слой, дебел 40 nm от YBCO, разделени от тънък диелектричен филм от  $SeO_2$  или  $SrTiO_3$ . Тези структури имат потенциално приложение в спинтрониката. YBCO компонента е нанесен върху подложка от STO, като след

нанасяне е охладен бързо (не е указана температурата на нанасяне на слоя). Наблюдава се изменението на кристалната решетка по време на отгряване в кислородна среда с помощта на рентгенови спектри, получени за кратко време със синхротронно излъчване. Получена е поредица от спектри при налягане на кислорода 900 mbar и различни температури от 650°C до стайна температура. Авторът разграничава четири зони и три фазови прехода при отгряване с различни температури - съответно при 350°C; 395 °C; 550 °C; като едната зона е наречена: „запълване на кислородните ваканции чрез дифузия“; а единия фазов преход: „преход на тетрагонално-ромбична решетка в орторомбична свръхпроводяща фаза и обратно“; най-високотемпературна е „фазата на разтворените (или разтопените) фракции“. Очевидно, поради близките атомни маси на итрия и стронция (по-леки от Ba и La) и по-леките Cu, Mn, Ti, O спектрите RBS не са дали възможност за детайлно изучаване на сложните структури тип сандвичи, посочени по-горе.

**Третата глава** на дисертацията на К. Григоров започва (частта е написана на 33 стр.) с изследване на слоеве от алуминиев нитрид, получени с радиочестотно реактивно магнетронно разпрашване в среда от чист азот или смес азот/аргон ( $p=2-3$  mTorr). Слоевете се отлагат върху силициеви подложки. В някои случаи е използван междинен слой от чист алуминий. Температурата на нанасяне на слоя е близка до стайна температура (по-точно отлагането се реализира при 88°C заради нагряването на отлагания слой и подложката от плазмата) или при температури в диапазона от 180°C до 400 °C, което се осъществява с нагревател. Във всички случаи получаваните слоеве са силно текстурирани, което личи от XRD спектрите. Колонната структура е наклонена на 55 ° което е в съответствие с наклона на потока разпрасен алуминий от мишената. Височината на колоните е 150-180 nm. Добавянето на Ag в газовата смес повишава съдържанието на AlN в слоя (намалявайки включеният Al), при това, при температури от 300 °C, докато при разпрашване в чист азот това може да се очаква при температури на израстване над 400 °C. Стойността на твърдостта на слоевете слабо се влияе от тяхната ориентация, но температурата и видът на работния газ оказват силно влияние върху твърдостта. Повърхността на слоевете е добре уплътнена и гладка, което личи от получените изображения с атомно-силов микроскоп.

Втора част (следващите 30 стр.) на трета глава на дисертацията на доц.д-р К.Григоров е посветена на изучаване ецването при йонна бомбардировка (или плазмено въздействие) на аморфни проводящи диаманто-подобни въглеродни слоеве и на кристални диелектрични слоеве от алуминиев нитрид. Рецензентът тук би си позволил да коментира използването на термина (на български) *корозия* вместо физическо или плазмено (дори химическо, ако не се използва аргон, а реактивен газ) *ецване* или евентуално *ерозия*. (Терминът корозия произхожда от латинската дума «corrodere», която най-често се свързва с многостепенно разяждане и в българския език се използва най-често за разяждане от морска или почвена вода или даже от влага. Използването на термина «корозия» за титана на стр 125 от дисертанта е правилно). Твърдението на автора, че конструираната газоразрядна система с кух катод и външно магнитно поле симулира процесите на йонно и плазмено ецване в йоносферата изисква доказване. Снетите характеристики на ецването с този прибор, включително и тези на диаманто-подобни слоеве имат качествен характер, поради непознаване на характеристиките на бомбардиращите потоци от заредени частици при различните експериментални условия. Освен резултати за поведението на слоеве в конструирания от автора прибор със студен катод, в текста на дисертацията са приведени AFM изображения на не-третираната и на ецваната повърхност на слоевете. Плазменото ецване в специфичните условия на прибора водят до по-гладка повърхност и растеж на зърната на диаманто-подобния въглероден слой. Раманова спектроскопия показва подобрене на структурната

еднородност на третираните слоеве чрез увеличаване на организираните в пръстени  $sp^2$  връзки (D поляризационен мод) и намаляване на слабо свързаните и хаотични въглеродни вериги (G модове).

В продължение на изследванията в най-много цитираната работа от посочените като отразени в дисертационния труд (посочена като [17] в дисертацията и под номер 5 в списъка на тези работи), като разпръшването на Al мишена става вместо само в азот, в смес от (Ar+N<sub>2</sub>) в съотношение 75:25 % (или съответно (N<sub>2</sub>/Ar)=1), което повишава твърдостта на слоевете (в сравнение с нанасянето в среда на чист азот). Радиочестотната мощност, подавана на мишената е 300 W, а температурата на подложката е 250 °C. Измерените стъпала на повърхността на слоеве от AlN, третираны с плазмена струя в прибора с кух катод, показан на фиг.3.19 са с няколко пъти по-малка дълбочина, в сравнение с наблюдаваните на повърхността на третираны диаманто-подобни въглеродни слоеве в този прибор, но на границата между третираната и не-третираната зона К. Григоров е наблюдавал кратери. Тези особености са обяснени с изолационното поведение (зареджване на повърхността и електрически пробиви в точковите дефекти в слоя AlN, който е широкозонен полупроводник с ширина на забранената зона 6,2 eV) и на селективното разпръшване, особено активно в областта на пробива. Представено е също EDX анализ на нетретираната повърхност на AlN и на областта с кратер, получен след йонно ецване, показващ обедняване на ецваните кратери с азот и поява на Si сигнал (което вероятно е в значително по-голям размер от оценените, тъй като EDX се прави с електронен сноп с значително по-голямо напречно сечение от сечението на наблюдаваните кратери в слоя). В заключението на тази част от 3 глава (не на място!) се съобщава и за сандвич DLC/AlN/Si нанесен върху силициева подложка, за който е получена ниска скорост на ецване и авторът го препоръчва за защитно покритие в космическото машиностроене.

Последната-трета част от трета глава на дисертацията (заемаща 28 стр. от текста и) е посветена на получаване и характеризиране на тънки слоеве от TiO<sub>2</sub>, както и на тънки слоеве от TiO<sub>2</sub>, съдържащи вградени азотни атоми. Изследваните слоеве са нанесени върху силициеви и кварцови подложки, чрез радио-честотно магнетронно разпръшване на добре почистени с разряд мишени от титан, при температура 400°C, върху силициеви и кварцови подложки. Вниманието е насочено към разширяване на оптичното пропускане на тези слоеве към по-ниски енергии, което е важно за приложението им във фотокатализата и слънчевите панели, а също хидрофобността на повърхността им при други приложения, включително самопочистващи се оптични повърхности. Не ни е съобщен източникът на изрази 3.4; 3.5 и 3.6 за контактния ъгъл на мокрене и за енергийте на адхезия. Дисертантът прави заключение (всъщност тази част на трета глава е без заключение), но в текста има подчертани фрази с характер на заключение, че включения азот в тънките слоеве разширяват пропускателния диапазон от електромагнитния спектър и хидрофобността на повърхността на слоевете, което «заедно с забележителната твърдост, силна адхезия към» подложката (в текста-«субстрата») «дава неоспорими предимства на тези покрития...». Оптичното пропускане на слоеве TiO<sub>2-x</sub>N<sub>x</sub>, нанесени върху кварцови подложки, е изследвано в диапазона 380-1000 nm. Чистите TiO<sub>2</sub> най-добре пропускат падащото светлинно лъчение в целия изследван диапазон, започвайки от 65% при 380 nm и бързо нараствайки до около 85% при 500 nm, след което бавно линейно нараства до около 100% в инфрачервения диапазон. Слоеви от TiO<sub>2</sub>, съдържащи азот имат по силно поглъщане на преминаващата светлина, нарастващо до един максимум и спадащо след това. Максимумът на кривата на пропускане за слоеви TiO<sub>2</sub> съдържащи 55%, 62% и 70% азот е съответно 38%, 36% и 59% и позицията му се премества от 449 nm до 539 nm с нарастване съдържанието на азот, вграден в слоя. Това действително демонстрира известно стесняване ширината на

забранената зона, но ползването на слоеве от титанов диоксид с вграден в тях азот, получен по технологията, използвана от автора, в приложения като фото-катализатор или елемент в слънчеви клетки се нуждае от още изследвания.

### **3. Обща характеристика на научноизследователската дейност на кандидата**

Доц. д-р Григоров работи главно върху характеризирани на структурата и морфологията на актуални за много приложения тънки слоеве, а по малко върху методите за нанасянето им, макар, че е запознат с тях и сам е работил върху отлаганите в трета глава тънки слоеве. И в двете области той използва стандартни методи (наукоемки, но известни). Пребиваването му в чужди университети и институти го е обогатило с опит по навлизане в съответните сложни научни тематики, представяне на получените резултати в статии в реферирани научни списания, а опитът му в Бразилия и към методи на обучение.

С помощта на RBS анализ, рентгенова дифракция при нормално или „плъзгащо“ се падане на рентгеновия лъч, атомно-силова микроскопия, измерване на абсорбцията на светлина и измерване ъгъла на мокрене на полярна и неполярна течност на повърхността на слоевете, както и поставяйки ги в условия на плазмено ецване доц. д-р К. Григоров получава нови данни и потвърждава известни такива (за структурата и морфологията на подбрани от него слоеве). В няколко случая той конструира възли, необходими за изследванията си и участва в разработване на физически модел за уплътняване на слоеве, нанасяни с физическо парно отлагане при ниски температури на подложката, но затова с йонно асистиране.

### **4. Основни научни и научно-приложни приноси в дисертацията**

По-важните научни и научноприложни приноси на д-р Григоров могат да се формулират така:

- Авторът участва в разработката на нов физически модел за уплътняване на тънки слоеве, получавани при ниски температури на подложката чрез физическо парно отлагане, придружено от йонно асистиране. Уплътняването се разглежда като резултат на прегрупирането (пренареждането) на изграждащите слоя атоми. При отношение на масата на атомите на мишената към масата на падащите йони равно или по-малко от 2 и при енергии на йоните до около неколкостотин eV, дълбочината на повърхностния слой, в който става преразпределение на атомите и уплътняване на слоя се равнява на пробегата на внедряваните бомбардиращи йони (неутрализиращи при достигане повърхността), а понеже тези пробези са известни приблизително при отсъствие на компютърна симулация, авторите предлагат тази активна зона да се приеме дълбока 1 до 1,5 константи на кристалната решетка на изграждания слой. Тогава сумата от ядрените загуби на енергия, предавани при всеки удар, които са по-големи от енергията на отместване на внедрен в междуатомното пространство на изгражданата кристална структура на слоя или на заместващ атом във възлите на тази решетка (приемани често като 25 eV, което е порядъкът на повърхностната енергия на свързване), разпределена на всички частиците в тази активна зона следва да е от порядъка на енергията на отместване (прегрупиране) на атомите, за да се получи оптимално уплътнен слой.
- Чрез RBS е изучена кристалната структура, съставът и профилите на разпределение на елементите за свръхпроводящи слоеве от  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , нанесени върху подложки от  $\text{SrTiO}_3$  по метода на «of-axis» балансирана DC магнетронна система. Слоевете са изследвани: след отгряване в продължение на 20 min и на 1 час в среда на кислород при налягане 700 mbar и отгряване без кислород (т.е. в този случай слой не е свръхпроводящ). Наблюдавани са интерфейсни зони с дислокации и нарушена стехиометрия на повърхността на слоя и на границата слой-подложка, дебели съответно 20 nm (подобно на други автори) и 15 nm. Установено е високо качество на кристалинност и че в интерфейлната зона на слоя с подложката има предимно бариеви и медни оксиди.

Преходът от тетрагонална фаза в тетраромбична (която е необходимо условие за високотемпературен свръхпроводящ YBCO) е определен по позицията на XRD пик 2 $\theta$  (005) при отгряване в кислородна среда при 375°C и налягане на кислород 900 mbar, (а по амплитудата на пик (001) този преход е наблюдаван при 350°C при същите условия).

- Получени са чисти високо-кристалинни тънки слоеве от AlN и са изследвани кристалната структура, химическият състав, морфологията и твърдостта в зависимост от работната смес от аргон и азот и различни температури на подложката при фиксирани радиочестотна мощност, подавана на мишената за осъществяване на магнетронно разпръскване, наличие или отсъствие на буферен слой. Установено е, че участието на Ag в работната смес оказва значително влияние върху израстване на високо-текстурирани слоеве от AlN. Повърхността на слоевете е гладка и добре уплътнена. При температури на подложката около и над 300°C и работна смес N<sub>2</sub>+Ag в съотношение 50:50 съдържанието на AlN достига до 100%. Измерените стойности на твърдостта на слоевете слабо зависи от ориентацията на кристалитите в тях, но силно зависи от работния газ.

- Конструиран е прибор с кух катод, магнитно поле и антикатод за изпитване на получавани слоеве и сравнението им в условията на йонно-плазмено ецване.

- За структура тип сандвич от диаманто-подобен въглерод върху силициев нитрид е получена ниска стойност на плазмено ецване (1.9 nm/min) в прибора с кух катод нанесени върху силициева подложка. Това прави тази структура интересна за изследване като защитно покритие.

- Изследван е състава на тънки слоеве от TiO<sub>2</sub> и TiO<sub>2-x</sub>N<sub>x</sub> с различна концентрация азот, отложени чрез RF магнетронно разпръскване върху силициеви или кварцови подложки. Оказва се, че те са смес от TiO<sub>2</sub> и TiN. Контактният ъгъл на мокрене на съдържащи азот слоеве е по-голям от този на чистия TiO<sub>2</sub>, което съответства на по-малка енергия на адхезия и повърхностна енергия на съдържащия азот слой. Установено е, че вграждането на азот в слоевете TiO<sub>2</sub> намалява ширината на забранената зона от 2,76 eV до 2.30 eV, което увеличава лентата на пропускане от 449 nm до 539 nm.

Посочените приноси са лично дело на кандидата.

Забелязаните около 100 цитирания, споменати по-горе, са достатъчно количество, съгласно изискванията за научното звание „доктор на физическите науки“ в много научни организации.

#### **6. Значимост на приносите за науката и практиката**

Научните резултати, които д-р К. Григоров представя в дисертацията си са плод на неговото сътрудничество с различни научни групи, използващи сложна и скъпа техника, в голямата си част отсъстваща в нашите изследователски институти. Изследваните слоеве се получават или могат да се получат у нас, но пълното им характеризирание тук е затруднено. В работите са описани някои подробности на модерните методи и техниката на изследване на тънки слоеве, която е полезна и за работещите в областта на тънкослойните структури и покрития и като част от натрупвания сега опит по нанотехнологии. Без познаване и използване на методите на получаване и детайлно изследване на тънкослойни структури нашата страна не би напредвала в изграждане икономика на знанието.

#### **7. Критични бележки и препоръки**

Не е ясно апроксимацията на стр.20 за средните пробези и средната дълбочина на отложената енергия и за дисперсията им откъде са взети.

За съжаление-няма достатъчен коментар на получените концентрационни и енергийни профили, показани на фиг.1.1 до фиг.1.4. Заключението, че е намерена ширината на активната зона в която има място преразпределение на атомите и тя е 1 до 1.5 константи на съответната кристална решетка не е ясно аргументирана?

В литературата към първа глава под номер 7 е цитирана само публикацията 3 и остава неясна ролята на публикации 2 и 4 от списъка на отразените в дисертацията работи. Тук (в литературата към гл.1) под номер 11,15 и 17 е вписана една и съща монография.

В израза (1.1)  $F_D(x)$  би следвало да се дефинира като *плътност на вероятност на отлагане на енергия по дълбочина* вместо непълното „разпределение на вероятността на отложената енергия“. В знаменателя на дясната част вместо  $v_1 \cdot s_1$  очевидно е по-коректно да е  $v_1 \cdot s_1$ . Обозначението с  $\epsilon(x)$  на разпределенията на отложената енергия по дълбочина [ $eV/atom$ ] (формули 1.1 и 1.3 и фиг.1.3), като това обозначение съвпада с общоприетото за безразмерната енергия по теорията на LSS, затруднява четенето на тази част от 1 глава. Обозначенията на коефициентите на захват  $s_1, s_2, s_{T1}, s_{N2}$  на стр.14 и във формула 1.1 нямат нищо общо с  $S_n$  или  $S_e$  на стр 17/18 и във формули 1.4, 1.6, 1.7, 1.11 и 1.12, наречени неправилно на български редуцирани ядрено и електронно сечение на захват вместо ядрени и електронни спирачни способности или енергийни загуби.

Хубаво би било да се цитира източника на фиг.2.3 и тя да се спомене по прецизно в текста. В литературата към втора глава като [11] е цитирана само работа 1 от публикациите на доц.д-р К.Григоров, отразени в дисертацията. Какво е мястото на работи 7 и 14 от този списък?

На стр.71 вместо правило на Брег е написано правило на Бряг. На стр.78 неточно и неправилно е написано: «Ако приемем, че работния газ се състои от  $Ar^+$  и  $N_2$  смес, йони, произлизащи от плазмата .... ». На рецензента не е ясна разликата между фиг.3.8а и фиг.3.8б и как от фиг.3.8б става ясно, че образецът е положително зареден с 25-30 V. Твърдението за отрицателни аргонови йони(стр.79) в плазмата е странно. Какво означава „...защото външната обвивка на плазменото тяло остава предимно положително...“? Не е ясна и оценката на потока заредени частици към образца-стр.80, които компенсират електрическото поле на 1 сантиметър от образца, нито заключението в последното изречение на абзаца „Повечето от разпръшваните компоненти от мишената са енергетични газове неутрали и термални частици“

Във втората част на трета глава (стр.94 и стр.32 от автореферата) общоприетата абревиатура MEMS неправилно е преведена като „микро-машинни устройства“ вместо „микро-електромеханични устройства“, както това е на 113 стр.. Употребени са две обозначения за напрежението на разряда  $V_s$  (на схемата на фиг.3.19) и  $U$  (на фиг.3.20, фиг.3.22, фиг.3.23, фиг.3.24 и фиг.3.25); при описание на прибора на фиг.3.19 се казва „... ние прилагаме отрицателна поляризация върху анода...“ което означава, че за “анод” в този случай служат заземените елементи на прибора, между които и кухия катод се пали разряд в газа-аргон, а вместо анод е по добре този отрицателен електрод да се нарича *антикатод*; на стр.99 има две изречения, които привличат внимание: „Поради факта, че двата електрода са поляризирани отрицателно...срещуположни сили *управляват* процесите на транспорт на ... *дупки, радикали и неутрали*. Електроните се *отблъскват* от катода, *свиват се* от магнитното поле...“(курсивът е мой): в текста към фиг.3.23 (стр.102) се говори за зависимост от мощността на плазмата, докато абсцисата на фиг.3.23 е напрежението на източника; в надписа под фиг.3.24 има указание, че скоростите на ецване са за  $I=0, 2$  и  $4$  A докато абсцисата е в A и на кривите има скорост на ецване при 0 A? Вероятно разряд се пали също между заземените електроди и мишената (отрицателния антикатод)? Рецензентът не приема обяснението под фигурата-че „идващите енергетични йони при коси ъгли допринасят за разпръшването на много тясна ивица от повърхността, без да допринасят за каскаден процес в дълбочина на слоя. Повечето от тях (неутрали) са отразени...“ което е обратно на представите за йонно разпръшване, което и авторът признава на следващите две-три страници. Така на фиг.3.25 и в табл.3.2 сравнението между перпендикулярно и наклонено падане на йоните

продължава, като потенциалът на мишената по отношение на зет продължава да се счита за ускоряващо напрежение на йоните (като не се отчита плазмения потенциал), а резултатът противоречи на представите на механизма на йонно разпрашване. Последното изречение на параграфа (стр. 107), с обяснението за ниските стойности на коефициента на разпрашване и слабата му зависимост от „ускоряващото напрежение“ „Фактът, че нормалата към субстрата, описваща интензитета на електрическата поляризация е силно отклонена от ъгъла на снопа“ е неприемливо.

Има по две фиг.3.40 и фиг.3.41. На ординатата на кривите за оптично пропускане, показани на фиг. 3.47 неправилно е записано [%]. Обозначенията на различните криви на тази фигура за слоевете от титанов диоксид, дотиран със азот неправилно са изписани като TiN вместо например като  $TiO_{2-x}N_x$ .

В трета глава е цитирана само работа [17], която е номер 5 в списъка на отразените в дисертацията работи. За читателя на дисертацията не е ясно кой данни и експерименти са използвани от работите 5, 6, 8, 9, 10,11, 12, 13, 15, 18, 19, 20, 21,22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 и 29 и имат ли всички отношение към разглежданите в дисертацията проблеми?

Езикът на написване на дисертацията е разбираем, но често личи, че дисертантът е усвоявал тематиката на чужди езици. Има отделни изрази, които напомнят машинен превод - те са без правилен словоред, без познаване на българската терминология и без запетаи. Примери за неправилни термини, използвани в дисертацията са: войдове, субстрати, понякога: окиси и по-специално титанов двуокис вместо: празноти (пори), както и подложки, оксиди и по-специално титанов диоксид. На страница 30 абривиатурата НТС е получена от първите букви на смес от английски и български думи (вместо НТС или ВТС), На стр.32 се употребява термина «отвърщане» вместо българския- «отгряване».

#### **8. Лични впечатления на рецензента**

Познавам кандидата от годините на работата му в Института по електроника на БАН като ученолюбив и трудолюбив изследовател. Познавам добре и работата на научните лаборатории на проф. Г. Григоров и проф. А. Спасов, с които работите на д-р К. Григоров имат допир. Затова добре мога да оценя личния принос на изследванията на доц. д-р К. Григоров, изложени в 1 и 2 глава от дисертацията. Общото количество и качество на научните публикации и международния опит в участие в съвместни научни изследвания и спечелване на грантове характеризират д-р К. Григоров като уважаван перспективен учен, който може да изгради успешна изследователска група в ИКИТ на БАН и да обогати науката с нови научни резултати.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Въз основа на дисертацията на доц.д-р К.Григоров и съдържащите се в нея научни приноси и тяхната значимост намирам за основателно да предложа на членовете на Научното жури и на Научния съвет на ИКИТ при БАН да присъдят за дисертационния труд „Израстване и изследване на тънки слоеве за приложение в микроелектрониката и космическото приборостроене“ на *доц. д-р Корнели Григориев Григоров* научната степен „*доктор на науките*“ в областта на висшето образование *4. Природни науки, математика и информатика*; професионално направление *4.1. Физически науки*; научна специалност „*Структура механични и термични свойства на кондензираната материя*“.

8.06.2015 г.

РЕЦЕНЗЕНТ: /п/

(чл.-кор. проф., д.физ.н. Г. Младенов)

ВЯРНО С ОРИГИНАЛА

