

СТ А Н О В И Щ Е

от члена на НЖ проф. дфн Иван Желязков,
Физически факултет, СУ “Св. Климент Охридски”
за дисертационен труд за придобиване на научната степен **доктор на науките**
на д-р Корнели Григориев Григоров,
доцент в Института за космически изследвания и технологии, БАН-София
Тема на дисертационния труд: **Израстване и изследване на тънки слоеве за приложение в микроелектрониката и космическото приборостроене**

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение. В дисертационния труд се разглеждат комплекс от проблеми, свързани с методите за израстване на тънки слоеве с високи качества и измерване на техните физически параметри, както и приложението им в микроелектрониката и космическото приборостроене. От особена важност са методите за отлагане и изследване на монокристални слоеве от свръхтвърди нитриди наред с технологиите за получаване на оптични покрития за приложението им във фотокатализата и соларните фотоклетки. Поради това разработваните проблеми от д-р Корнели Григоров са актуални и стоят на предния фронт на съвременната микроелектроника.

2. Познава ли кандидатът състоянието на проблема и оценява ли творчески литературния материал? Цитираните в дисертационния труд 54 заглавия показват, че кандидатът познава голямото разнообразие от техники и методи за израстване на тънки слоеве и тяхното структурно изследване, но смятам, че броят на цитираните статии и монографии би могъл да бъде по-голям – тук става дума за дисертационен труд за придобиване на научната степен **доктор на науките**. Самият дисертационен труд е написан по нестандартен начин, в смисъл, в кратък преамбюл, озаглавен “Обща характеристика на дисертационния труд” се описва накратко съдържанието на трите основни глави, като всяка глава има свой предговор/въведение, съществени части, заключение и литература. В Заключение (без номер) се формулират основните резултати и приноси, и е приложен списък на публикациите, въз основа на които е написан дисертационният труд.

3. Избраната методика на изследване може ли да даде отговор на поставените цели и задачи на дисертационния труд? Дисертационният труд има три основни цели, а именно: (1) Експериментално да се определят концентрационните профили и отложената енергия при израстване на тънки слоеве чрез йонно-асистирано парно отлагане; да се определи внесената енергия на атом от израствания слой и да се намери ширината на активната зона, в която се осъществяват процесите на преразпределение на атомите, групирането им и формирането на ‘компаунд’ с максимална плътност. (2) Разработване на физически методи за оценка на качествата/параметрите на израстваните тънки слоеве (по-конкретно определяне на степента на корозия, морфологичните, кристални и химични промени, индуцирани в слоевете). (3) Изследване на нов клас оксидно-нитридни компаунди с оглед на тяхното приложение във фотокатализата, соларните фотоклетки и създаването на самопочистващи се оптични повърхности. За осъществяването на тези цели се използват съвременни методи за израстване на тънки слоеве (физическо парно отлагане, реактивно радиочестотно магнетронно разпрашване, отлагане в разряд с кух катод при ниско налягане) и определяне на тяхната морфология и специфични физични характеристики чрез: рентгенова дифракция, Ръдърфордово обратно разсейване, профилометрия, енергийно-дисперсионен анализ, атомно-силова микроскопия, сканираща електронна микроскопия, рентгенова дифракционна микроскопия, оптическа микроскопия, наноиндентация и чрез регистриране на синхотронна рентгенова радиа-

ция в реално време. Изброените методи за израстване и изследване на тънки слоеве дават еднозначен отговор на поставените цели и задачи в дисертационния труд.

4. Кратка аналитична характеристика на научните и научно-приложни приноси на дисертационния труд. Глава първа на дисертационния труд е посветена на изследване на концентрационните профили и отложената енергия при израстване на тънки слоеве чрез йонно-асистирано физическо парно отлагане. Тази технология за израстване на тънки слоеве е широкоизползвана в практиката – новост тук е предложеният физичен модел за пресмятане на дълбочинните профили на отложената енергия $\varepsilon(x)$ на атом в изграждащ се филм от хексагонален боров нитрид чрез асистиране с азотни йони при различни енергии на азотните атоми (уравнения (1.1)–(1.12)), като теоретично-получените профили на азота (гладки криви) са сравнени с пунктирни криви, получени чрез компютърна симулация (фигури 1.1 и 1.2). Освен това теоретично са пресметнати концентрационните профили и профилите на отнемване на отложената енергия на атом за две стойности на числения параметър $c = 0.5, 1$ (c е отношението на плътностите на потоците на високо- и нискоенергетични частици) при две различни енергии на азотните атоми, съответно 500 и 125 eV (фигури 1.3 и 1.4).

Втората глава, озаглавена “Физически методи за оценка и изследване на тънки слоеве”, включва (i) изследване на високотемпературни свръхпроводникови структури от типа YBCO/LSMO чрез Ръдърфордско обратно разсейване, както и оценка на кислородното съдържание на слоевете чрез рентгенова дифракция и (ii) изучаване на фазови трансформации в тънки YBCO-слоеве, дължащи се на инжектирането на спин-поляризирани квазичастици от манганатен/LSMO слой чрез проследяване на синхротронната радиация в реално време. Това е главата, която включва техниките за израстване на свръхпроводящи филми и нанасяне на феромагнитни слоеве (съответно с балансирана постояннотокова магнетронна система с косо-ориентирана мишена и чрез високочестотно магнетронно разпрашване) и методите за изследване на посочените структури. Трансформациите и процесите на фазовите взаимодействия са изучени *in situ* в кислородна атмосфера и при високи температури като се е използвало Rossendorf Beamline-съоръжението в European Synchrotron Radiation Facility в Гренобъл. Основен принос тук е установяването на температурния диапазон за формирането на свръхпроводящата фаза на YBCO, както и определянето на корелацията между кристалната структура на свръхпроводника и съдържанието на кислород в нея от една страна и критичната температура T_C от друга, чрез изследването на три свръхпроводящи структури (фигури 2.3–2.10 и таблици 2.1–2.4). Фазовите трансформации, дължащи се на инжектирането на спин-поляризирани квазичастици от манганатен слой, са изследвани в 40 nm-етров “закален” във вакуум YBCO-слой, нанесен върху SrTiO₃-ева подложка чрез регистрация на синхротронната радиация в реално време. Същественият принос на дисертанта е контролираният преход от тетрагонална фаза на свръхпроводящия слой към орторомбична, която е желаната свръхпроводяща фаза (фигури 2.12 и 2.13).

Третата глава, която представлява близо 2/3 от целия дисертационен труд, е посветена на израстването и изследването на тънки слоеве за приложения в микроелектрониката и космическото приборостроене. Съществен принос на кандидата е израстването на високо-текстурирани, свободни от замърсявания, алуминиево нитридни (AlN) тънки слоеве, отложени върху силиций (в равнината 100 на кристалната решетка) чрез радиочестотно реактивно магнетронно разпрашване при ниски температури. Получен е образец (AlN-9), който по качества надхвърля използваните като еталони тънки слоеве в рентгеновата спектрометрия (фигури 3.15 и 3.16). Установена е линейна зависимост на фазовия състав на слоя от температурата на подложката при израстване в азотна атмосфера и параболична зависимост при смес от аргон и азот. Вторият съществен принос на кандидата е подробното изследване на структурните, морфологични и хи-

мични промени на различни видове покрития вследствие на корозията. Това изследване е направено със специално конструирана газоразрядна система с кух катод (фиг. 3.19). По-конкретно, изучена е корозията на получен чрез нереактивно сухо ецване диамантено-подобен въглерод (DLC) като функция на магнитното поле и ускоряващото напрежение (фигури 3.21–3.25). Морфологията на повърхността на образците е надеждно установена чрез атомно-силова и Раманова спектроскопии (фигури 3.26–3.29). Експериментално измерената ниска стойност на скоростта на корозия от 1.9 nm min^{-1} на структури от типа DLC/AlN/Si предполага успешно внедряване на такива защитни покрития в космическите технологии. Чрез изследване на слоеве от TiO_2 и TiON с помощта на Ръдърфордско обратно разсейване, рентгенова дифракция под малък ъгъл, атомно-силова и оптична микроскопии д-р Корнели Григоров установява, че дотирането с азот на филмите от титанов диоксид силно намалява работата за адхезия и съответната повърхнинна енергия. Тънки слоеве от TiO_2 , дотирани с азот, са изследвани и в друг аспект, а именно изучаване на оптичната селективност на такива компаунди. Титановият двуокис е химически инертен материал, стабилен към корозия, нетоксичен и относително евтин, подходящ за редица екологични приложения, като напр. фотокаталитичното разграждане на токсични органични продукти. Главният недостатък на TiO_2 за такива приложения е неговата относително широка забранена зона от 3.0–3.2 eV, което обстоятелство в крайна сметка води до светопропускливост само в ултравиолетовата област на слънчевия спектър (при $\lambda < 380 \text{ nm}$). За да увеличи ефективността на такива слоеве във видимия светлинен диапазон, кандидатът предлага дотиране на TiO_2 с азот, което намалява ширината на оптически забранената зона от 2.76 на 2.3 eV и съответно увеличава дължината на вълната (на пропускливост) от 449 на 539 nm. Въпросната ширина на забранената зона е определена чрез оптични абсорбционни техники и резултатите са съпоставени със състава на филмите, тяхната кристална структура, размер и разпределение на зърната (фиг. 3.45), повърхнинна грапавост (фиг. 3.44) и повърхнинна енергия. Оптичeskата пропускливост и оптичeskия абсорбционен коефициент на четири вида филми като функция на дължината на вълната и енергията на фотоните са илюстрирани на фигури 3.46–3.49.

В резюме научните приноси на д-р Корнели Григоров може да се формулират като разработване на нови технологии за получаване на тънки слоеве и методи за надеждно определяне на техните физични и химични параметри с използването на широк клас от диагностични инструменти и техники.

5. До каква степен дисертационният труд и приносите са лично дело на кандидата? Дисертационният труд, състоящ се от 165 страници, 85 фигури и 11 таблици, е написан въз основа на 29 публикации, една от които е самостоятелна, в 7 от тях кандидатът е пръв автор, а в 9 – втори автор. Всичко това ми дава основание да смятам, че научните приноси са лично дело на кандидата.

6. Преценка на публикациите по дисертационния труд: брой, характер на изданията, в които са отпечатани, цитирания. От включените в дисертационния труд 29 публикации 24 са статии, публикувани в международни научни списания, 2 са глави от монография и 3 – доклади в пълен текст от конференции. От списанията бих отбелязал *Surface Sci.* (1 статия), *Eur. Phys. J. D: Atomic, Molecular, Optical and Plasma Phys.* (3 статии), *Eur. Phys. J.: Appl. Phys.* (1 статия), *Appl. Phys. A: Materials Sci. & Processing* (1 статия), *Vacuum* (3 статии), *Diamond and Related Materials* (1 статия) и *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B* (2 статии) – всичките с импакт-фактор. Смятам публикационната дейност на кандидата за достатъчна. Научните трудове на д-р Корнели Григоров са намерили отзвук сред световната научна колегия: кандидатът е представил списък с 51 забелязани цитата, като две от статиите му, публикувани през 2004 г. съответно в *Appl. Phys. A: Materials Sci. & Processing* и *Vacuum* са цитирани 17 пъти, а статията му в

Surface Sci. от 2011 г. е цитирана 16 пъти, като в една от статиите на чужди автори се подчертават високите показатели на филми от титанов диоксид, дотиран с азот, получени от Григоров и съавтори.

7. Критични бележки. Моите критични бележки към дисертационния труд се отнасят главно към библиографията: тя не е направена по удобен за рецензента начин: първо, имаме отделни литературни списъци по глави, второ, статиите на кандидата, въз основа на които е написан дисертационният труд, нямат собствена номерация, напр. KG1 и тъй нататък, както е общоприето за дисертации. Дори в представения на страници 160–164 списък от научни публикации има редица пропуски: липса на места страници или томове, непълни заглавия на списания, неуточнен брой на страниците в двете глави от монография. На стр. 91 кандидатът се позовава на теория на Movchan and Demechisin (1969) без да се посочва къде е публикувана тази теория. Очевидно става дума за статията на Б. А. Мовчан и А. В. Демчишин, публикувана във *Физика металлов и металловедение* 28 (1969) 653–660. В текста са използвани доста чужди думи, някои от тях като «проба» (вместо сонда) или «плот» (вместо графика) са крайно неудачни. Физичната величина B (стр. 100) не е сила, а индукция на магнитното поле; курсивното n в ур. (3.12) не е индекс, а степенен показател.

8. Авторефератът правилно ли отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд? Основните положения и научните приноси са правилно отразени в автореферата, но номерата на фигурите не са последователни – те са взети с *coru & rase* от дисертационния труд.

9. Заключение. Кандидатът доц. д-р Корнели Григоров е високо квалифициран учен и преподавател със завидна компютърна грамотност: през своята 30-годишна кариера на научното поприще той е имал възможността да специализира и работи в редица престижни университети и научноизследователски лаборатории, да бъде университетски преподавател, ръководител на дипломанти и докторанти, член на научни журита, участник в 18 научни проекта и 18 международни конференции, анонимен рецензент на публикации в реномирани списания. Наукометричните показатели на д-р Корнели Григоров са достатъчно красноречиви: общо 379 цитирания, от които 166 след 2000 г.; h -index 11/7, i 10-index 13/6 – всички те надхвърлят изискванията, които се предявяват към кандидатите за научната степен **доктор на науките**. Като имам предвид цялата научна продукция на кандидата и получените от него високи научни и научно-приложни резултати в областта на физиката на тънките слоеве с оглед на тяхното използване в микроелектрониката и космическото приборостроене, с пълна убеденост предлагам на членовете на Научното жури да гласуват за присъждане на научната степен **доктор на физическите науки** по научната специалност *Структура, механични и термични свойства на кондензираната материя* на г-н Корнели Григориев Григоров.

11 юни 2015 г.

Изготвил:


/проф. дфн Иван Желязков/

ВЕРНО С ОРИГИНАЛА



