

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за присъждане на образователната и научна степен
„Доктор”

Професионално направление **4.1 „Физически науки”** („Електрични,
магнитни и оптични свойства на кондензираната материя”)

Автор на дисертационния труд: **Максим Кирилов Сандулов**

Тема на дисертационния труд: „**Приложения на йонната имплантация за
целите на нано-размерен електрически запис на информация в
диамантено- подобен въглерод**“

Рецензент: **Проф. дфн. Дориана Иванова Малиновска, ЦЛ СЕНЕИ-БАН,**
Домашен адрес: **община Слатина, ул. Хемус бл. 61 А, ап. 20, София 1574**

Докторантът **Максим Кирилов Сандулов** е дипломиран през 2011 г. като инженер-нанотехнолог в областта на електрониката в Южнорусийски Държавен Технически Университет в гр. Новочеркасск, Русия. Бил е редовен докторант в ИФТТ-БАН в периода 01.01.2013-31.12.2016 г. Работил е като оператор за осъществяване на електрически тест и измервания в ООД „Сентилион“- гр. София през периода 01.03.2016 – 01.11-2016 г. От 01.01.2017г. е назначен като асистент в ИФТТ-БАН.

Дисертационният труд на **Максим Кирилов Сандулов** е посветен на изследване на възможностите на йонно-лъчевата имплантация за осъществяване на наноразмерен електрически запис на информация. Темата на дисертацията е актуална както от научна, така и от практическа гледна точка, и попада в едно много перспективно направление, отнасящо се до развитие на дигиталните памети. Като материал за осъществяване на електрически запис на информация е избран диамантено-подобен въглерод, който има редица предимства от досега използваните за тази цел материали. Изследвани са промените във фазата, структурата и морфологията на диамантено-подобни тетраедрични въглеродородни (ta-C) тънки слоеве чрез метода на йонна имплантация на

химически активен легиращ елемент като N_2 в аморфната структура на тънки слоеве ta-C.

Дисертационният труд е написан на 159 страници, 69 фигури (47 от тях са от литературни източници) и 2 таблици, представени в литературния преглед. Използвани са 201 литературни източници. Представени са списъци с 8 публикации с участието на дисертанта и на 10 доклада, докладване на научни форуми, на които се базират представените резултати в дисертационния труд. Дисертационният труд има следната структура: 1. Въведение – 13 страници; 2. Литературен преглед с 24 параграфа, представен на 100 страници; 3. Описание на избраната технология и изчисления на приложените условия на йонната имплантация чрез симулационната програма SRIM в 6 параграфа - 17 страници, както и експериментални резултати, представени на 39 страници; 4. Заключение- 3 страници; 5. Приноси – 1 страница.

Материалът на дисертационния труд не е представен с номерирани глави, а като отделни формулирани озаглавени части, въпреки че в текста на автореферата се споменава за наличие на глави в дисертацията.

В дисертационния труд докторантът е представил твърде подробно състоянието на проблема. Използваните литературни източници са публикувани в периода 1955 до днес, като преобладаващи са тези, публикувани след 2000 г. Представеният литературен обзор е творчески анализиран и показва задълбочено познаване на състоянието на развитите технологии и подходящите изследвания по темата на дисертационния труд.

Целите на дисертационния труд са ясно формулирани: разработка на технология за йонно-лъчево модифициране на структурата и състава на нехидрогенизирани аморфни въглеродни диамантено-подобни тънки слоеве и изследване на техните електро-физични свойства за целите на създаване на RAM памети. Задачите, произтичащи от целите, са дефинирани конкретно и ясно като са позволили да бъдат подбрани както условията на осъществяване на йонната

имплантация, и материалите, обект на изследване, така и методите за изследване на свойствата им.

Изследванията, резултатите от които са включени в дисертационния труд, са съпроводени с представяне на експериментален материал, като това е способствало за изясняване на технологичните и изследователски задачи и обобщаване на резултатите.

За провеждане на изследванията са приложени успешно комплекс от съвременни физични техники за изследване на структурата - Раманова спектроскопия; Оптична спектроскопия, включително инфрачервена; Сканираща електронна микроскопия (SEM); Трансмисионна електронна спектроскопия (TEM); Електронна дифрактометрия (SAED); Проводяща атомно-силова микроскопия (C-AFM); Рентгенова фотоелектронна спектроскопия (XPS).

В резултат на проведените експерименти чрез йонна имплантация на азот в диамантено-подобни тънки слоеве е постигнат ефект върху превключващото резистивно състояние. Постигнато е намаляване на стойностите на праговите напрежения при резистивно превключване при ниски дози на имплантация. Наблюдавано е модифициране на приповърхностната структура на ta-C слоеве и увеличаване на проводимостта на тази фаза. Наблюдавано е увеличаване на съдържанието на графитната sp^2 фаза при увеличаване на имплантираната доза. Фазово-структурно модифициране е потвърдено и от анализите чрез SEM, TEM, SAED. Показано е, че фазово-структурната модификация се отразява и на праговото напрежение на превключване. Чрез модела на Pool-Frenkel е направена оценка на влиянието на легирането с азот при йонната имплантация, която показва, че в резултат на равномерното разпределение на азотни примеси се създават локални примесни центрове и зони, влияещи върху механизма на проводимост, при което се намалява напрежението на превключване. Направено е предположение, че при прилагане на електрично поле се реализират допълнителни механизми на проводимост и в резултат на градиент на температурата се създават условия за модифициране на структурата и формиране

на подредени графитени кластери и проводими влакна с по-висока проводимост в имплантираните области.

Приносите на дисертационния труд могат да бъдат квалифицирани като **получаване на утвърдителни факти при прилагане на нов метод и подход** за модифициране на електрическите характеристики на диамантено-подобни наноразмерни тънки слоеве; **получаване на нови данни** – използване на технологията на имплантация на азот за индуциране на модифициране на структурата и свойствата на диамантево-подобни въглеродни слоеве. При това **резултатите показват потенциал за приложение** на метода на йонна имплантация за осъществяване на нано-размерен електрически запис на информация, което има определено значение за практическо приложение.

Дисертантът има определен личен принос за представените резултати от експериментите, които са осъществени в колектив. Трябва да се отбележи, че прилагането на сложни технологии и специализирани апаратури изискват колективно провеждане. Дисертантът е посочил в дисертационния труд (стр. 11), че интерпретацията на експерименталните резултати са осъществени след съвместно съгласуване с научно-изследователската група.

Представените в дисертационния труд резултати са публикувани в 8 научни статии в научни списания, 3 от които са в списания с импакт фактор. Докторантът е представил резултатите на 10 международни научни конференции, научни семинари и научни сесии. Публикациите са в съ-авторство, като е представен разделителен протокол.

Авторефератът е изготвен съгласно изискванията, съдържа 35 страници и представя главно научните резултати, които съответстват на тези включени в дисертационния труд. Основните положения и научни приноси на дисертационния труд са правилно отразени. В автореферата материалът е представен в обособени номерирани 4 глави със съответни заглавия, докато в дисертационния труд това не е така.

Нямам непосредствени впечатления от научната дейност на кандидата. Запознаването ми с представените материали, обаче, ме убеди, че той е един много добър научен специалист и изследовател, с висока компетентност в своята област. Счита за необходимо да отбележа, че в дисертацията е разработваната тема, която е част от научноизследователския проект **CareRAMM (Carbon resistive random access memory materials)** по тематичен приоритет **NMP.2012.2.2-2 'Materials for data storage'** (Материали за запис на информация) за изпълнение на финансиран договор по Седма рамкова програма на ЕК - **NMP3-SL-2012-309980**. Имено като участник в този успешно приключил проект през м. февруари 2016 г., докторантът е получил допълнителна подкрепа за използване на високотехнологичната апаратура и експертни консултации на няколко водещи европейски научни центрове, което несъмнено е спомогнало за по-пълното му професионално израстване в областта на материалознанието и по-конкретно в направлението на материалите за запис на информация. От не по-малко значение е също и допълнително развиваната самостоятелност по време на прилагане на получените знания за намиране на иновативни решения за конкретни експерименти и за анализ на резултатите от тях, което се вижда и от представения значителен обем изследвания, проведени в България по време на курса на обучение.

Представеният дисертационен труд характеризира **Максим Кирилов Сандулов** като израстнал млад учен, способен да провежда самостоятелни изследвания с важно практическо приложение.

Имам някои забележки по отношение на техническото оформление на материалите. Счита, че не е подходящо поставянето на Съдържанието на дисертационния труд (стр. 14) след текста на Въведението, където са дадени и списъците на авторските публикации и доклади на научни форуми (стр.2-14). Има и технически пропуски в дисертационния труд: липсва названието на & 2.3.5 (стр.79), забелязано е отпечатване на два реда от текста един върху друг (стр.81 и стр. 101), не всички литературни източници са представени съгласно стандартните изисквания, както и наличие на граматически грешки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След като се запознах с дисертационния труд, автореферата и представените научни публикации на докторант **Максим Кирилов Сандулов**, считам, че материалите отговарят на ЗАДЗ и на изискванията на ИФТТ-БАН за присъждане на **образователната и научна степен „доктор”** и с пълна убеденост препоръчвам на членовете на научното жури да гласуват за присъждане на тази степен на **Максим Кирилов Сандулов**.

08.03.2017 г.

София

Подпис:



/проф. дфн. Дориана Иванова-Малиновска/