

РЕЦЕНЗИЯ

по конкурс за заемане на академичната длъжност „професор“, обявен в ДВ бр. 64 от 16.08.2016 г., по професионално направление 4.1. „Физически науки“, научна специалност „Физика на кондензираната материя“

с единствен кандидат Албена Дончева Паскалева, доктор на науките, доцент в ИФТТ - БАН

Рецензент: Дианка Димитрова Нешева-Славова, дфн, професор в ИФТТ, член на Научно жури по конкурса, наначено със заповед на Директора на ИФТТ № РД-09-118 от 22.11.2016 г.

1. Общо описание на представените материали. Публикации преди и след получаване на научната степен.

Доцент Албена Паскалева Дончева, единствен кандидат по конкурса, е представила необходимите документи за заемане на академичната длъжност „професор“ по Закона за развитието на академичния състав на Република България и Правилника за неговото прилагане.

Висше образование е получила от Физическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“ (магистър, специалност „физика на твърдото тяло“, 1991 г.). Докторска степен има от 1999 г. Защитената дисертация е на тема „Влияние на плазмени процеси и бързо термично отгряване във вакуум върху свойствата на тънкослойни Si-SiO₂ структури“, ИФТТ, БАН. През 2015 г. тя защити дисертация на тема „Електрически активни дефекти и процеси на захват в high-*k* диелектрици за микро- и наноелектронни приложения“, ИФТТ, БАН и ѝ беше присъдена научната степен „доктор на науките“.

Доц. Албена Паскалева работи успешно в Института по физика на твърдото тяло от 29 години. На длъжността доцент е избрана през 2005 г. Ръководител е на лаборатория „Физически проблеми на микроелектрониката“, ИФТТ от 2010 до края на 2016 г. В момента е ръководител на направление «Функционални материали и наноструктури» и зам. Директор на ИФТТ.

Общият брой на научните трудове на доц.дфн Албена Паскалева е 125 и те са цитирани над 900 пъти. Хирш факторът на кандидата е 16 (по данни от Скопус). За участие в конкурса доц. Паскалева е представила 95 публикации, разделени в две групи: „А“ - 74 публикации в периодични издания и глави от книги и „В“ – 21 доклада, публикувани в пълен текст в сборници на конференции, както и авторефератите на дисертациите за присъждане на образователната и научна степен «доктор» и научната степен «доктор на науките». От представения списък на публикациите се вижда, че 25 от тези трудове не са използвани при получаване на двете научни степени. От 74 работи в група «А» 64 бр. са в авторитетни научни списания с импакт фактор – в ACS Appl.Mat. Interf. (IF 6.723) – 2 бр., Appl.Phys. Lett. (IF 3.794) – 2 бр., J.Phys.D:Appl. Phys (IF 2.528) – 6 бр., J.Appl. Phys. (IF 2.21) – 7 бр., Appl.Surf.Sci. (IF 2.112) – 9 бр., Mater. Sci. Semicon. Process. (IF 1.955) – 3 бр., Semicon. Sci. Technol. (IF 1.921) – 3 бр., Microel.Reliab. (IF 1.137) – 13 бр. и т.н. Общият импакт фактор е около 125, а импакт факторът на публикациите, които не са включени в дисертациите е около 57, 11 от публикациите имат обзореен характер, като 3 от тях: A12, A53 и A74 (поканена Глава 4 в книгата "Conductive Atomic Force Microscopy: Application in nanomaterials" на издателство Wiley VCH, под печат) не са включени в дисертациите. Съгласно изискванията на Закона за развитието на академичния състав на Република България кандидатите за професор трябва да са представили публикуван монографичен труд или равностойни публикации в специализирани издания и други оригинални

научноизследователски трудове, които се оценяват по съвкупност. Въз основа на анализа на представените материали, считам че те напълно удовлетворяват изискванията на ЗРАСРБ.

Представени са още: (а) списък с участие в 45 международни конференции и (б) списък от 6 получени отличия, от които следва да се отличи високо престижната награда на БАН "Марин Дринов" за млади учени за 2000 г. Високата научна квалификация на доц. Паскалева е получила признание в избора ѝ за рецензент към Европейската Комисия и поканата за участие в Редакционната колегия на списание "Materials Science in Semiconductor Processing", в което е била гост-редактор на специално издание през 2013 г.

2. Обща характеристика на научната, научно-приложната и педагогическа дейност на кандидата;

Научно-изследователската дейност на доц. Паскалева е съсредоточена в областта на диелектрични материали и технологии за микро- и наноелектронни приложения. Проведени са задълбочени изследвания върху метал-диелектрик-полупроводник и метал-диелектрик-метал структури, подходящи за приложение в динамични паметни, полеви транзистори в логически схеми и постоянни електронни паметни от различен тип. Изследванията са с фундаментална и научно-приложна насоченост и в редица от тези изследвания доц. Паскалева е имала водещо участие - в изследванията, свързани с Zr, Hf и HfTi - силикати, като алтернатива на SiO₂ в логически приложения, в изследване на залавянето на заряд и деградация в high-k диелектрици на нано-ниво и в тези, насочени към разработване на резистивни паметни.

Работено е с няколко групи диелектрични слоеве и различни метални електроди. Търсено е оптимизиране на свойствата на диелектричните слоеве за целите на конкретния тип приложения и намиране на най-подходящия метален електрод за дадения диелектрик. Използвани са различни процесите на отлагане, позволяващи добре контролирано нанасяне на слоеве с нанометрова дебелина. Прилагано е легиране на някои слоеве, нитридиране на силициевата подложка, плазмени и термични обработки на диелектричните слоеве и т.н. Използвани са съвременни техники с висока чувствителност и точност за характеризиране на състава на слоевете и елементното разпределение в дълбочина, както и за точно определяне на дебелината, което е важно при интерпретиране на данните от проведените комплексни електричните измервания. Направени са заключения за механизмите на електричен транспорт в структурите, за концентрациите, енергетичното и пространствено разположение на уловките и механизмите на залавяне на зарядови носители в тях, за електрическата надеждност и дефектите, генерирани от електричен стрес. Публикуваните резултати и интерпретации са съществен принос към работата за успешното включване в силициевата технология на т.н. high-k диелектрици с висока диелектрична константа. Те са познати и широко използвани от международната научна общност, което се доказва от високата им цитируемост и показва, че доц. Паскалева е авторитетен и международно признат учен в областта на физиката и технологията на свръхтънки диелектрични слоеве за приложения в свръхплътни интегрални схеми.

Много от изследванията са изпълнени в сътрудничество с чуждестранни учени. Доцент Паскалева е била ръководител на 2 и участник в 3 научни договора, финансирани от фонд „Научни изследвания“, ръководила е 1 договор, финансиран от БАН и Македонската академия на науките и изкуствата и още 5 договора за междуакадемично сътрудничество с учени от Словакия и Сърбия. Участник е в изпълнението на 7 договора с Македония и Сърбия. В периода 03.2002 - 03 2003, е била Хумболтов специализант в Университета Ерланген-Нюрнберг, Германия, а в

следващите 10 години (2003-2013) е работила по съвместни проекти с Фраунхоферовия Институт по Интегрални Схеми и Технологии в Ерланген.

Няма данни за учебно-образователна дейност на кандидата.

3. Основни научни и научно-приложни приноси

Основните теми в научно-изследователската дейност на А. Паскалева са правилно отразени в авторската справка и са представени ясно и компетентно. Те обединяват както резултати в работи, включени в двете дисертации, така и резултати публикувани в нови трудове, представени за конкурса за професор, които допълват и разширяват тематиката на дисертациите. Накратко, следвайки темите от авторската справка (в **болд**), приносите могат да се характеризират по следния начин:

1. Изследване на електрически активни дефекти в тънкослойни структури от Si-SiO₂, възникващи при различни технологични процеси, въздействие на високо полеви стрес и гама лъчение [A1-A12, B1-B5]. Показано е че видът, плътността, енергетичното положение на дефектите и влиянието им върху проводимостта и транспортните свойства на електроните в инверсия канал зависят най-силно от условията на прилаганите плазмени обработки. Установено е, че и високо полевият стрес и плазмената обработка създават нехомогенно разпределени по дебелината на SiO₂ обемни уловки и бавни състояния.

2. Изследване структурните и електрически свойства на тънки диелектрични слоеве на основата на Ta₂O₅, като алтернатива на SiO₂ за приложение в свръхплътни динамични паметни (DRAM).

- ❖ Изучено е влиянието на температурата на подложката и отгряването в кислородна среда върху качествата на слоеве от Ta₂O₅ в метал-оксид-силиций (МОС) структури [A15, A23, A35, B6, B8, B13]. Получени са данни за диелектричната константа, електричното поле за пробив, проводимостта и механизма на транспорт на носителите в диелектрика. Доказано е, че отгряването променя типа на проводимостта в диелектричния слой и подобрява радиационната устойчивост при облъчване с гама лъчи.
- ❖ За намаляване на проникването на Si атоми от подложката в Ta₂O₅ е използвана нитризация на повърхността на Si подложка чрез бързо термично отгряване при различни температури в атмосфера на N₂O или NH₃ и имплантация на N атоми с малка енергия [A23, A27, A33, A40, A42, A61, B8, B15]. Установено е, че по-силен ефект върху диелектричната константа има отгряването в NH₃. Чрез нискотемпературно отгряване на имплантираните образци е постигнато повишаване на ефективната диелектрична константа и по-добро качество на разделителната повърхност.
- ❖ В рамките на активните изследвания в световен мащаб по замяна на силициевия гейтов електрод при полеви транзистори с подходящ метал са изследвани МОС структури с Ta₂O₅ и електрод от Al, W, Au, TiN, TiN/W, Ru и RuO₂ [A28, A37, A43-A45, A48, A55, A57, A60, B18]. Направени са оценки на ефективната диелектрична проникваемост, фиксираният заряд на интерфейса и енергетичното разпределение на повърхностните състояния. Определена е отделителната работа на RuO₂.
- ❖ Изследвано е влиянието на включване на атоми на Ti или Hf в слоя от Ta₂O₅ върху свойствата на МОС структурите, включително и при различна предварителна азотна обработка на Si повърхност [A45, A49, A50, A54, A57 A59, A62, A64, B14, B16, B19, B20]. При Ti е постигната най-голяма диелектричната константа, когато е разположен като междинен слой в Ta₂O₅ и е доказано, че се формира многокомпонентна система от Ta₂O₅, TiO_x и TaSiO_x. Включването на Hf създава

относително плитки уловки и това води до нежелано увеличава проводимостта в диелектрика. Стабилно поведение е наблюдавано при МОС структури с Ru електрод.

3. Изследване на тънки high-k диелектрични слоеве (Zr-силикат, HfTi-силикат, Hf-силикат) като алтернатива на SiO₂ в логически приложения.

- ❖ Изучени са процесите на залавяне на заряд и механизмите на проводимост в МОС структури с диелектричен слой на базата на силикати от типа на ZrSi_xO_y и HfSi_xO_y с цел да се покаже тяхната приложимост в наноелектрониката [A19, A20, A22, A26, A39, A41, B10, B12]. Наблюдавано е залавяне на електрони, което зависи от поляриността и големината на приложеното напрежение. Определена е височината на енергетичната бариера между металния контакт и зоната на проводимост на диелектриците. Намерено е различие в енергетичното положение на уловките в двата диелектрика, което води до различие в залавянето на заряд в слоевете и обмяна на електрони между диелектрика и Si. Направено е заключение, че върху силициева подложка двата материала са термодинамично стабилни и диелектричната им константа не се променя при високотемпературни обработки.
- ❖ Проведени са изследвания на четири-компонентни HfTiSiO слоеве с различно съотношение на Hf и Ti [A24, A29, A30, B7, B9]. Направен е извод, че при увеличаване на количеството на Ti се променя механизмът на проводимост от обемно-ограничен транспорт към фононо-подпомогнато тунелиране по дискретни енергетични нива на уловките.

4. Изследване явления на захват и деградация в high-k диелектрици на нано-ниво

Тук са получени много интересни оригинални резултати [A46, A47, A53, A66], представени най-пълно в главата от книга [74]. Чрез тунелна атомно силова микроскопия са наблюдавани повишени токове на утечка през границите на кристалните зърна в слоевете и това е едно от първите преки доказателствата за явлението. Кантиливърът е използван като микросонда за измерване на волт-амперни характеристики и е предложена методика за анализ на тези характеристики. Този подход дава възможност да се изследва залавяне на заряд и процеси на деградация в наноскалата. Предложен е модел, според който собствените уловки са прекурсори на индуцираните от стрес електрически активни дефекти.

Изследванията резюмирани в точки 5 и 6 не са включени в дисертацията за доктор на науките и са най-новите области, в които работи кандидата.

5. Метал-диелектрик-метал структури за приложение в DRAM

- ❖ Изследвани са метал-изолатор-метал (МИМ) структури с различни диелектрици (ZrAlO, ZrSiO) и е изучено влиянието на времето на окисление, вида и количеството на легиращите Al и Si върху морфологията и дебелината на оксидните слоеве, диелектричните и електрически свойства на структурите [A51, A58, A63, A69]. Показано е, че добавянето на малки количества Al или Si съществено намалява токовете на утечка, като не променя съществено диелектричната константа и при някои свръхтънки слоеве токовете на утечка напълно удовлетворяват изискванията за DRAM памети под 80 нм. Получени са данни за влиянието на уловките върху механизмите на проводимост в МОС структури с електроди от TiN.
- ❖ Разграничени са явления и ефекти общи за всички high-k диелектрици и такива, типични за дадена фамилия [A32, A56, A62, B19]. Показано е, че собствените уловки в диелектрика играят роля при залавянето на електричен заряд, но и са дефекти, през които се осъществява електронният транспорт, като една и съща уловка може да определя и участва в различни механизми на проводимост в даден

high-k диелектрик. Направено е заключение, че в повечето случаи основната уловка, през която се извършва транспортът на електричен заряд, независимо от диелектрика е положително заредена кислородна ваканция

6. Изследване на диелектрични слоеве, включително многослойни структури, за приложение в новопоявяващи се концепции за енерго-независими флаш памети

Разработвани са памети, използващи залавяне на заряд и такива, основани на промяна на съпротивлението на МИМ структури с различни диелектрици. Макар тези изследвания да са на по-ранен етап от предходните, тук са получени интересни и обещаващи резултати.

- ❖ Изследвано е влиянието на дебелината на диелектрични слоеве от HfO_2 и ZrO_2 , на легирането с Al и на средата на отгряване върху диелектричните и електрични свойства на МИМ структури с тези слоеве [A70-A73] и са измерени добри плътности на захванатия заряд и времена на задържането му в диелектрика. Получени са данни за природата, пространственото и енергетично положение на уловките и влиянието им върху механизмите на залавяне на заряд в тези структури. Изследвани са възможностите за подобряване на способността на структурите да задържат заряд.
- ❖ Изследвани са ефектите на резистивно превключване и е наблюдаван стабилен биполярен ефект в МИМ структури с TiO_2 или HfO_2 с долен електрод от TiN и горен от Pt [A65, A67, A68, B21]. Измереното отношение между двете резистивни състояния (100-1000) е добро за приложение на тези структури като резистивни памети. Изследван е ефектът на добавяне на бариерен слой от Al_2O_3 върху резистивното превключване и е установено, че дебелината му има определяща роля за стабилизиране и усилване на процесите на превключване в тези структури [A67].

Приносите на кандидата могат да се характеризират като доказване с нови средства на съществени нови страни на вече съществуващи научни проблеми (във всички теми), създаване на нов метод (тема 4) и оптимизиране на технологии за отлагане на слоеве и структури (във всички теми), получаване и доказване на нови факти (във всички теми).

6. Отражение на научните публикации на кандидата в нашата и чуждестранна литература (по негови данни):

Представените за участие в конкурса 95 публикувани научни труда имат 810 независими цитирания и Хирш индексът на тези статии е 15. Това е доказателство, че публикациите са с висока актуалност, а резултатите в тях са съществени и много добре познати на световната научна общност.

7. Критични бележки по представените трудове, включително и по литературната осведоменост на кандидата.

Намирам, че литературната осведоменост на кандидата е на много високо ниво и нямам съществени критични бележки към представените трудове. Пожелавам на доц. Паскалева някой или някои от получените в досегашните изследвания научно-приложни резултати да намерят практическо приложение.

9. Лични впечатления

Впечатленията ми от доц. Паскалева са за един ерудиран учен, отличен специалист в областта си, работлив, комуникативен и принципен колега, който се ползва с уважение в ИФТТ. Свидетелства за това са избирането ѝ за член на Научния Съвет на ИФТТ, за ръководител на Направление и за зам. Директор на Института.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Представените за този конкурс материали и научни трудове на доц. дфн Албена Паскалева Дончева характеризират кандидата като водещ специалист в областта на обявения конкурс, който е високо квалифициран, с голямо международно признание и е способен да ръководи научни изследвания на високо научно ниво в областта на диелектрици и технологии за микро- и наноелектронни приложения. Убедено препоръчвам на Почитаемото жури да предложи на Научния съвет на ИФТТ-БАН да присъди на доц. дфн Албена Дончева Паскалева академичната длъжност “професор”.

19.01.2017 г.
Гр. София

Подпис:
/проф.дф. Д. Нешева-Славова/