

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: инж. Веселин Вълков Желев

Тема на дисертационния труд: „Тънки слоеве от SnO_2 за приложение в позиционночувствителни фотодетектори”

Рецензент: Проф. д-р. , инж. Дориана Иванова Малиновска, ЦЛ СЕНЕИ-БАН, асоцииран професор

Домашен адрес: община Слатина, ул. Хемус бл. 61 А, ап. 20, София 1574

Инж. Веселин Вълков Желев е дипломиран като магистър по специалността „Полупроводникови материали и технологии“ в ХТМУ - София през 2013 г. Средният успех от дипломата му е „отличен (5.75)“ и от защитата на дипломната работа – „отличен (6.0)“. От 01.04.2014 г. е зачислен като редовен докторант към катедра „Физика“ при ХТМУ-София по научната специалност 4.1 „Физически науки” („Електрични, магнитни и оптични свойства на кондензираната материя”) с научен ръководител проф. д-р инж. Пламен Петков. Издържал е успешно изпитите, които се изискват за придобиване на образователна и научна степен „доктор“ – по научната специалност, по специализиращ и широкопрофилен предмет и по чужд език. През 2017 г. е бил специализант в Университет в Китай по програмата ЕРАЗЪМ. Отчислен е с право на защита на 01.04.2018 г.

Целта на дисертационния труд на **инж. Веселин Вълков Желев** е ясно формулирана - получаване на прозрачни проводящи слоеве от SnO_2 , легирани с As ($\text{SnO}_2\text{:As}$), по метода на спрей пиролиза за приложение в позиционно-чувствителни структури.

Поставените задачи са подробно описани – създаване на апаратура за отлагане на тънки оксидни слоеве по метода на спрей-пиролиза и разработване на технология за отлагане на нелегирани и легирани с As слоеве от SnO_2 върху подложки от стъкло и Si; изследване на влиянието на технологичните условия на отлагане на слоевете върху техните оптични, електрични и структурни свойства, създаване на структури $\text{Si/SiO}_2\text{/SnO}_2\text{:As}$ чрез отлагане на $\text{SnO}_2\text{:As}$ слоевете върху подложки от окислена повърхност на Si пластини и изследване на техните позиционно-чувствителни характеристики; оценка на легирането с As на слоеве от

SnO₂ върху потенциала за тяхното приложение в позиционно-чувствителни фотодетекторни структури.

Темата на научните изследвания е актуална и има безспорна фундаментална и практическа значимост за съвременната наука.

Дисертационният труд е написан на 116 стр. и има следната структура:

Въведение;

Глава 1.- Литературен обзор;

Цел и задачи;

Глава 2. - Получаване на прозрачни проводящи слоеве от SnO₂

Глава 3. - Охарактеризиране на слоевете от SnO₂ по отношение на дебелина, състав и структура;

Глава 4. - Получаване и изследване на позиционночувствителни структури със слоеве от SnO₂, легирени с As;

Изводи;

Приноси;

Литература.

Трудът е илюстриран с 57 фигури и 12 таблици. Цитирани са 82 литературни източника, които не включват публикациите на дисертанта. Прави впечатление използване на литературни източници, публикувани още през 1957 г. и 1958г., и такива до 2018 г. като преобладаващите цитирани научни публикации са от последните 15 години. В дисертационния труд не е представен списък на публикациите на докторанта, където са публикувани резултатите, на които се базира трудът.

Дисертантът е навлязал задълбочено в проблематиката, като оценява творчески литературния материал. В литературния обзор са описани характеристиките на слоеве от SnO₂ - кристална структура, граповост, химични, физични и електрични транспортни, оптични свойства, методи на получаване на тънките слоеве от SnO₂ и на тяхното охарактеризиране. Направените задълбочени изводи от литературния обзор са спомогнали за определянето на целите и правилното поставяне на задачите.

Представено е подробно описание на създадената апаратура за получаване на слоевете от оксиди като SnO₂ и In₂O₃ по метода на спрей пиролиза. На основата на предварителни експерименти са определени границите на главните технологични параметри на процеса на отлагане. Представени са резултатите от изследване на влиянието на условията на отлагане

върху свойствата на слоевете SnO_2 : промяна на оцветеността на слоевете, на стойностите на листовото съпротивление, специфичното съпротивление и проводимостта с промяна на дебелината на слоевете, с изменение на концентрацията на SnCl_4 в разтвора за пулверизиране, използван за легиране с As, с промяната на температурата на отлагане в диапазона 360-500 °C. Чрез прилагане на метода на Хол ефект е определена подвижността на носителите и е изследвано влиянието на концентрацията на As_2O_5 в разтвора за пулверизация (ще отбележа, че това не е концентрация на примесите, както е написано на Фиг. 35 и текста на стр. 78, ред 4 отгоре) върху концентрацията на токовите носители и холската подвижност. Представени са резултати от изследването на оптичните свойства – пропускане, отражение на легираните слоеве при различна концентрация на използвания за легиране As_2O_5 в разтвора за пулверизация. След легирането оптичното пропускане намалява до 80%, но тази стойност е достатъчна за използване на отложените слоеве за приложение в позиционно-чувствителни фотодетектори, работещи на основата на латерален фотоефект. Определена е стойността на ширината на забранената зона на отложените слоеве - нелегирани и легирани (при използване на 2.5 mol. % As_2O_5) слоеве SnO_2 , като е показано, че стойността на ширината на забранената зона на легирания слой е по-ниска. Изследвано е и влиянието на легиране с As върху структурата и на повърхностната морфологията на отложените слоеве чрез методите на XRD и SEM, съответно. Показано е, че с промяна на концентрацията на As_2O_5 в разтвора до 2 mol.% относителният дял на ориентацията на кристалитите по (110) нараства, при това тези на ориентации (101) и (200) намаляват и при концентрация 3 mol.% доминира ориентация (200), като това наблюдение е обяснено в текста на дисертационния труд. Този резултат съвпада с резултатите на други изследователи, получени при легиране с Sb. Показано е, че при увеличаване на температурата на отлагане се наблюдава увеличаване на размерите и формата на кристалитите в отложените слоеве, като е предложено адекватно обяснение на резултатите. Резултатите от изследване чрез XPS метода на слоеве, отложени при използване на 3 mol. % As_2O_5 , дават данни за концентрацията на елементите в отложените слоеве, като е показано, че концентрацията на легиращия примес As – 2.2 ат.%, е по-ниска от тази на As_2O_5 в използвания разтвор, което е наблюдавано и публикувано в литературата от други автори и за легирани с Sb слоеве SnO_2 .

Изследван е повърхностният фотоефект на позиционночувствителни структури $\text{Si/SiO}_2/\text{SnO}_2:\text{As}/\text{Ag}$ (където Ag са контакти) с участието на легирани с As слоеве SnO_2 с дебелини 200, 250 и 300 nm, отложени при концентрации 1,5-2,5 mol. % на As_2O_5 в разтвора

за пулверизация. Показано е, че зависимостта на фото-напрежението от отместването на светлинното петно е линейна в диапазона до 3mm от центъра между двата контакта. По-голяма чувствителност показват структури със слоеве с по-малка дебелина и по-ниска концентрация на As_2O_5 в разтвора за пулверизация, което се обяснява с поглъщане на светлината от примесите в слоя и на разсейването на светлината от дефектите в кристалната структура с увеличаването на концентрацията на примесите, както показват резултатите от проведените структурни изследвания.

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

Научните приноси на дисертационния труд могат да бъдат квалифицирани като:

1. Разработване на нов технологичен метод

- Приложен е иновативен метод – спрей пиролиза, за легиране с As на слоеве от SnO_2 , чрез въвеждане на As_2O_5 в разтвора за пулверизация от SnCl_4 .

2. Получаване на нови факти

- За първи път са използвани легирани с As слоеве SnO_2 , отложени чрез спрей пиролиза, за създаване на позиционно-чувствителни структури $\text{Si/SiO}_2/\text{SnO}_2:\text{As}/\text{Ag}$, които имат потенциал за приложение като фотодетектори, работещи на основата на повърхностен фотоефект.

3. Получаване на потвърдителни данни относно влияние на легирането върху свойствата на оксидни слоеве SnO_2

- Установено е влиянието на концентрацията на оксида на легиращия елемент в разтвора за пулверизация върху свойствата на отложените слоеве – наблюдавана е промяна на кристалната структура на слоевете при увеличаване на концентрацията на примесите и увеличаване размерите на кристалитите в тях при увеличаване на температурата на отлагане.

Авторефератът на дисертационния труд съответства на текста, представящ резултатите от изследванията в дисертационния труд. Не е представен литературният обзор и, съответно, не е представен списък на литературните източници. Представени са списъци на публикациите

и докладите на научни форуми на докторанта, на които се базират представените резултати, както и забелязани цитирания на тези публикации.

Дисертационният труд се базира на 3 публикации: 2 статии в специализирани списания с импакт фактор и 1 - в сборник, издаден от InTech Publications; 7 участия с доклади в международни форуми. На XV научна постерна сесия за млади учени, докторанти и студенти“ в ХТМУ е удостоен с Грамота и награда за представяне на постер: “Латеранен фотоефект в $\text{SnO}_2\text{-SiO}_2\text{-Si}$ полупроводникови структури“. Резултатите, включени в дисертацията, съответстват на тези, представени и дискутирани в научните статии и постери.

Считам, че докторантът има основен принос при провеждане на експериментите и представяне на резултати от изследванията, които са включени в дисертационния труд - научните резултати са публикувани в съавторство с научния ръководител и други учени, които са способствали за провеждането на експериментите и обсъждането на резултатите.

Резултатите от проведените изследвания са намерили отзвук в международната литература – 1 от статиите, на които се базира дисертационният труд, е цитирана 2 пъти. Ще отбележа, че независимо, че тази статия на докторанта е публикувана през 2018 г., тя е вече цитирана (№1 от списъка с цитирания: Yan Hao, Shuai Guo, Dieter Weller, Min Zhang, Chunjie Ding, Ke Chai, Lingling Xie, and Ruibin Liu, Position-Sensitive Array Photodetector Based on Comb-Like CdS Nanostructure with Cone-Shape Branches, Adv. Funct. Mater. (2018), 1805967 (1-7)), като авторите посочват приложението на получените легирани с As слоеве SnO_2 , като позиционно-чувствителни детектори, а в другия цитат (№2: Chao D., L. Wei, L. Yan, W. Lin-Lin, C Yun, P. Pei-Feng “First principle study of electronic structure of Sb, S, Co-doped SnO ” (2018) Acta Physica Sinica, 61, 1, 213102 (1-7), DOI: 10.7498/aps.67.20181228) е отбелязано използването на As като n-тип легиращ примес за повишаване на проводимостта в слоевете SnO_2 , описани в статия №1 от списъка на публикациите на докторанта.

Имам забележки по отношение на техническото представяне на резултатите - никъде в текста на дисертационния труд и в текста на автореферата не са цитирани и посочени научните статии на докторанта, където са публикувани съответните резултати. В надписите на някои фигури и таблици не е дадено описание на използваните индикации, напр. в Таблица 7 на стр. 76 на дисертацията не е отразено какво е n_s и n , при това и за двете индикации е написано „концентрация на токовите носители“.

Ще отбележа и липсата на описание в текста на дисертацията относно техническите мерки, които трябва да се приложат при използване на токсични вещества като As_2O_3 в процеса

на получаване на слоевете, както и при практическото използване на сензори с легиран с As SnO₂ слой.

Представеният дисертационен труд характеризира **инж. Веселин Вълков Желев** като израстнал млад учен, способен да провежда самостоятелни изследвания с важно практическо приложение.

Имам лични впечатления от докторанта при изнасяне на негови доклади на научни форуми у нас, където той се представи с много добре аргументирани обяснения на получените резултати, които са включени в дисертационния му труд.

Имам въпроси към докторанта, свързани с обяснение на някои от резултатите:

1. Как се обяснява намаляването на стойността на оптичната забранена зона в легираните с As слоеве от SnO₂ в сравнение с нелегираните?
2. Защо слоеве, отложени върху стъклени подложки, имат по-високи стойности на електрическото съпротивление в сравнение с тези, отложени върху Si подложки - как разликата в химическата природа на подложките влияе върху проводимостта на отложените слоеве?
3. Какво е съпротивлението на подложките от c-Si, по какъв метод е получен слой SiO₂ и каква е неговата дебелина в структурите Si/SiO₂/SnO₂:As/Ag?
4. Изследвано ли е дали контактите, нанесени от Ag паста към структурата Si/SiO₂/SnO₂:As/Ag, имат омов характер?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След като се запознах с дисертационния труд, автореферата и представените научни публикации на докторант **инж. Веселин Вълков Желев**, считам, че материалите отговарят на Закона за развитие на академичния състав на Република България, Правилника към него и на изискванията на ХТМУ-София 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 **инж. Веселин Вълков Желев**.

03.06.2017 г.

София

Подпис:

/проф. дфн. инж. Дориана Иванова-Малиновска/