Ліщук Павло Олександрович, інженер І категорії фізич&shy;ного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка: &laquo;Особливості теплового транспор&shy;ту в поруватих напівпровідникових структурах на основі кремнію&raquo; (01.04.07 - фізика твердого тіла). Спецрада Д 26.001.23 у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова

праця на правах рукопису

ЛІЩУК ПАВЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 536.2

ДИСЕРТАЦІЯ

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВОГО ТРАНСПОРТУ В ПОРУВАТИХ

НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВІ КРЕМНІЮ

01.04.07 – фізика твердого тіла

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата фізикоматематичних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,

результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ П.О. Ліщук

Науковий керівник Бурбело Роман Михайлович,

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Київ – 2019

ЗМІСТ

Вступ....................................................................................................................... 16

РОЗДІЛ 1. Особливості теплового транспорту в поруватих

напівпровідникових структурах на основі кремнію (Огляд літератури) ........ 22

1.1 Основні методи синтезу поруватих напівпровідникових структур на

основі кремнію....................................................................................................... 22

1.1.1 Формування поруватого кремнію методом анодного електрохімічного

травлення та його морфологічні особливості .................................................... 22

1.1.2 Метод метал-стимульованого хімічного травлення кремнію як один із

основних методів формування масиву кремнієвих нанониток ........................ 26

1.2 Особливості теплового транспорту в поруватих напівпровідникових

структурах на основі кремнію ............................................................................. 28

1.2.1 Питома теплоємність поруватих кремнієвих наноструктур ................ 28

1.2.2 Ефективна теплопровідність поруватих кремнієвих наноструктур. ... 29

1.3 Основні методи дослідження теплового транспорту в твердому тілі ... 34

1.3.1 Основні методи реєстрації фототермоіндукованих явищ при

імпульсному опроміненні твердого тіла............................................................. 39

1.3.2 Основні методи реєстрації фототермоіндукованих явищ при

періодично-модульованому опроміненні твердого тіла ................................... 41

1.3.3 Фотоакустичні методи як універсальні та ефективні методи

дослідження теплопровідності твердого тіла..................................................... 44

1.4 Висновки до розділу 1 ................................................................................ 52

2. РОЗДІЛ 2 Методика експерименту...................................................... 54

2.1 Експериментальний стенд для дослідження теплового транспорту в

напівпровідникових поруватих структурах на основі кремнію....................... 54

2.2 Моделювання в одновимірному наближенні просторового розподілу

температурного збурення в двошаровому зразку при його опроміненні

прямокутно-модульованим випромінюванням.................................................. 59

14

2.3 Тарування фотоакустичних газомікрофонних комірок для дослідження

теплового транспорту в поруватих структурах на основі кремнію................. 61

2.4 Висновки до розділу 2 ................................................................................ 69

3. РОЗДІЛ 3 Фотоакустичні методи для визначення теплофізичних

властивостей шарів кремнієвих нанониток........................................................ 71

3.1 Досліджувані зразки ................................................................................... 72

3.2 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз ........................ 73

3.2.1 Структурні дослідження вихідних шарів кремнієвих нанониток........ 73

3.2.2 Експериментальні дослідження теплофізичних і оптичних

властивостей кремнієвих нанониток фотоакустичними методами ................. 75

3.3 Висновки до розділу 3 ................................................................................ 81

4. РОЗДІЛ 4 Фотоакустичний метод для визначення теплофізичних

властивостей аморфізованого поруватого кремнію .......................................... 83

4.1 Досліджувані зразки ................................................................................... 83

4.2 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз ........................ 85

4.2.1 Експериментальні дослідження морфології опромінених зразків ПК 85

4.2.2 Фотоакустичні дослідження. аморфізованого поруватого кремнію ... 91

4.2.3 Моделювання просторового розподілу температурного збурення в

зразку в одновимірному наближенні .................................................................. 94

4.2.4 Аналіз експериментальних результатів.................................................. 96

4.3 Висновки до розділу 4 .............................................................................. 100

5. РОЗДІЛ 5 Особливості теплового транспорту в мультишарових

поруватих напівпровідникових структурах на основі кремнію..................... 101

5.1 Особливості виготовлення мультишарових поруватих систем на основі

кремнію ................................................................................................................ 102

5.2 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз ...................... 105

5.3 Висновки до розділу 5 .............................................................................. 113

15

ВИСНОВКИ......................................................................................................... 114

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ........................................................... 116

ДОДАТОК А........................................................................................................ 134

ВИСНОВКИ

Наосновіпроведенихекспериментальнихдослідженьособливостей

фототермічногоперетвореннятаіндукованогоелектромагнітним

випромінюваннямтепловоготранспортувнеодноріднихсистемахнаоснові

поруватогокремніюбуло

Запропонованомодельформуванняфотоакустичноговідгукувсистемах

наосновіпоруватогокремніюзнеодноріднимпросторовимрозподілом

теплофізичнихтаоптичнихпараметрівпригазомікрофонномуметоді

реєстраціївкласичнійконфігураціїМодельдаєзмогувизначити

коефіцієнтитемпературопровідностітатеплопровідностіструктурв

більшширокомудіапазонізначеньчимнапівемпіричнамодель

критичноїчастотиЗокремабулоотриманозначеннякоефіцієнту

теплопровідностідлявпорядкованихмасивівкремнієвихнанониток

критичначастотаякихбулапозадіапазономчастотякіможнабуло

експериментальнодосягнутипригазомікрофонномуметодіреєстрації

Встановленохарактервпливунаповнювачапоруватоїкремнієвоїматриці

назмінутеплофізичнихпараметрівдосліджуваноїсистемизрізною

конфігурацієюпорЗокремапоказанощоприрісттеплопровідностіпри

інкорпоруваннірідинивпориусистемахзнаявноюфрактальною

морфологієюзначновищийніжусистемахзвпорядкованою

структурою

З’ясованофізичнімеханізмимодифікаціїтеплопровідностіпоруватого

кремніюприопроміненнійогоповерхнііонамиуранузенергієюМеВ

зрізнимидозамиопроміненняЗокремазадопомогоюфотоакустичного

методупоказанощозменшеннятеплопровідностіпоруватогокремнію

призбільшеннідозиопроміненняйогоповерхніпов’язанозізбільшенням

часткиаморфноїфазивструктурі



Експериментальновстановленовпливпросторовогорозподілу

поруватостівперіодичнихмультишаровихструктурахнаоснові

поруватогокремніюзсубмікронноютовщиноюшарівтавизначено

величинуефективногокоефіцієнтутеплопровідностівних

Запропонованомодельзмінитеплопровідностівтакихструктурахяка

ґрунтуєтьсянанаявностітепловогоопоруінтерфейсуміжшарамиз

різноюпоруватістю

Отриманозалежністьтепловогоопоруінтерфейсуміжшарами

поруватогокремніювідрізниціпоруватостіміжшарамиВстановлено

щотаказалежністькорелюєззалежністювідбиванняфононіввід

інтерфейсуміжшарамипоруватогокремніюзрізноюпоруватістюяка

булаотриманаврамкахмоделіакустичнихімпендансів