Дубик Катерина Володимирівна, інженер І категорії фі&shy;зичного факультету Київського національного університе&shy;ту імені Тараса Шевченка: &laquo;Особливості формування фо- тоакустичного відгуку в композитних системах на основі поруватої кремнієвої матриці&raquo; (01.04.07 - фізика твердого тіла). Спецрада Д 26.001.23 у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка МОН України

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

ДУБИК КАТЕРИНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 534.1: 536.2

ДИСЕРТАЦІЯ

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФОТОАКУСТИЧНОГО ВІДГУКУ В

КОМПОЗИТНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ПОРУВАТОЇ

КРЕМНІЄВОЇ МАТРИЦІ

01.04.07 – фізика твердого тіла

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних

наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,

результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ К.В. Дубик

Науковий керівник Бурбело Роман Михайлович, доктор фізикоматематичних наук

Київ – 2019

ЗМІСТ

ВСТУП ................................................................................................................... 19

РОЗДІЛ 1. Фотоакустичне перетворення як засіб безконтактної неруйнівної

діагностики поруватих систем (огляд літератури) ............................................ 27

1.1 Фотоакустичні методи дослідження поруватих систем та композитів на

їхній основі ........................................................................................................ 27

1.1.1 Методи реєстрації фототермоіндукованого збурення в твердих

тілах ................................................................................................................ 27

1.1.2 Формування фотоакустичного сигналу при опроміненні

модульованим світлом. П’єзоелектрична реєстрація................................ 33

1.1.3 Формування та реєстрація фотоакустичного відгуку в твердих тілах

за умови імпульсного опромінення............................................................. 38

1.2 Методи синтезу кремнієвих поруватих систем ....................................... 40

1.2.1 Механізми, методи формування та особливості морфології

поруватого кремнію. .................................................................................... 40

1.2.2 Методи синтезу кремнієвих нанониток............................................. 43

1.3 Методи контролю параметрів поруватих систем на основі кремнію.... 46

1.3.1 Особливості дослідження оптичних властивостей........................... 46

1.3.2 Способи контролю механічних параметрів....................................... 51

1.3.3 Методи дослідження теплових властивостей

наноструктурованого кремнію..................................................................... 53

Висновки до розділу 1 ...................................................................................... 61

РОЗДІЛ 2. Методика виготовлення та характеризація зразків ........................ 63

2.1 Поруватий кремній: умови виготовлення та структура зразків............. 64

2.2 Масиви кремнієвих нанониток .................................................................. 68

17

2.3 Композити на основі наноструктурованого кремнію з рідким

наповнювачем.................................................................................................... 70

Висновки до розділу 2 ...................................................................................... 71

РОЗДІЛ 3. Формування фотоакустичного відгуку від поруватого кремнію та

композитів на його основі під дією періодично модульованого випромінення

................................................................................................................................. 73

3.1 Мультишарові та композитні структури на основі поруватої кремнієвої

матриці................................................................................................................ 74

3.2 Експериментальний стенд для дослідження фотоакустичного відгуку в

кремнієвих структурах при періодично модульованому опромінюванні... 75

3.3 Моделювання фотоакустичного відгуку в мультишаровій структурі за

умови п’єзоелектричного методу реєстрації.................................................. 77

3.4 Аналіз часових та частотних характеристик фотоакустичного відгуку в

композитних системах на основі поруватої кремнієвої матриці ................. 81

3.4.1 Вплив наноструктурування кремнієвих систем на формування

фототермоакустичного відгуку.................................................................... 81

3.4.2 Формування фотоакустичного відгуку в системах з інтерфейсом

«тверде тіло/рідина» ..................................................................................... 88

3.4.3 Фототермоакустичне перетворення в композитних системах

«порувата матриця – рідина» ....................................................................... 98

Висновки до розділу 3 .................................................................................... 105

РОЗДІЛ 4. Формування фотоакустичного відгуку від композитної системи на

основі поруватої матриці при їх імпульсному лазерному опроміненні ........ 107

4.1 Загальна постановка задачі підвищення ефективності фотоакустичного

перетворення в поруватих матеріалах .......................................................... 108

18

4.2 Експериментальний стенд для дослідження формування

фотоакустичного відгуку в композитних системах на основі кремнію при їх

імпульсному лазерному опроміненні............................................................ 109

4.2.1 Оптична система досліджень інформативного відгуку в твердих

тілах. ............................................................................................................. 109

4.2.2 Акустична система реєстрації інформативного відгуку в поруватих

структурах.................................................................................................... 111

4.3 Аналіз формування фотоакустичного відгуку в поруватих кремнієвих

матеріалах та композитах на їх основі.......................................................... 112

4.3.1 Нелінійний лазерний ультразвуковий відгук у кремнієвих

структурах.................................................................................................... 112

4.3.2 Формування фотоакустичного відгуку в наноструктурованих

композитних системах «порувата матриця – рідина»............................. 119

4.3.3 Фототермоакустичне перетворення в композитах на основі

кремнієвих нанониток під дією імпульсного опромінення .................... 125

Висновки до розділу 4 .................................................................................... 130

Висновки .............................................................................................................. 132

Список використаних джерел ............................................................................ 134

Додаток А............................................................................................................. 147

ВИСНОВКИ

Експериментальновиявленорядособливостейнаамплітуднотафазочастотнихзалежностяхфотоакустичногосигналуусистемахшар

кремнієвихнанонитокмонокристалічнапідкладкаЗокрема

спостерігаютьсяперегинияківідповідаютьчастотномудіапазону

десяткикГцВстановленощоточкаперегинуназміщуєтьсявобласть

низькихчастотпризбільшеннітовщинимасивуДляпояснення

виявленихособливостейначастотниххарактеристикахзапропоновано

модельформуванняфотоакустичноговідгукувсистемахщомістять

кремнієвінанониткиякавраховуєвідсутністьтангенціальних

деформаційумасивіщопредставленийокремиминанонитками

Встановленовзаємозв’язокміжвеличиноютеплопровідності

кремнієвихнанонитокп’єзоелектричнареєстраціясигналутачасомїх

травленняПричинатакогозв’язкузумовленазбільшеннямкількості

механічнопошкодженихнанонитоктаїхдодатковимрозтравленням

яківизначаютьструктурнунеоднорідністьзразка

Експериментальноотриманозменшенняамплітудифотоакустичного

відгукупринаявностіліофобноїрідининаповерхніпоруватого

матеріалуВстановленощовеличинатакогозменшеннявизначається

співвідношеннямтепловихактивностейрідинитадосліджуваного

зразкаЗапропонованопідхідуякомуреалізуєтьсяодночасне

визначеннятеплоємностітатеплопровідностіпоруватихматеріалів

Розвиненомодельформуванняакустичноговідгукузбудженого

імпульснимлазернимвипроміненнямякавраховуєзалежність

пружнихпараметрівматеріалувідтемпературиЕкспериментально

показанозастосовністьданоїмоделідоописуекспериментальних

залежностейамплітудифотоакустичноговідгукувінтервалі

інтенсивностізбуджуючоговипромінення÷МВтсм





Встановленосуттєвийприрістдодвохпорядківвеличиниамплітуди

фотоакустичноговідгукузбудженогоімпульснимлазерним

випроміненнямукомпозитнихсистемахкремнієвінанониткирідина

тапоруватийкремнійрідинаупорівняннізматеріаломбез

наповнювачаПоказанощодлясистемпоруватийкремнійрідина

такийприрістповязанийзізбільшеннямкоефіцієнтутеплового

розширеннякомпозитноїсистемитодіякдлясистемкремнієві

нанониткирідина–щеізізбільшеннямпоглинанняоптичного

випромінення

Запропонованомодельформуванняфотоакустичноговідгукув

композитнихсистемахнаосновіпоруватихкремнієвихматрицьз

різноюморфологієюзаумовиїхопроміненняперіодично

модульованимтаімпульснимлазернимвипроміненнямиякавраховує

змінутеплофізичнихтапружнихвластивостейвнаслідок

інкорпоруваннярідинивпоруватуматрицю