

Довідка

про творчий внесок наукового співробітника

Інституту хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

Гаврилюка Олександра Олександровича

у наукову роботу «Лазерний відпал нестехіометричних плівок SiO_x »

на здобуття премії президента України для молодих вчених

Великий інтерес становить лазерно-індуковане формування кремнієвих структур нанометрового масштабу. Електронні і оптичні властивості нанокристалів кремнію істотно відрізняються від властивостей $c\text{-Si}$. В останні роки для створення структур з кремнієвими нанокластерами почав використовуватись лазерний відпал. З його допомогою можна як наноструктурувати кристалічний кремній, так і проводити лазерний відпал нестехіометричних плівок SiO_x . Відпал імпульсним лазером не дозволяє контролювати температуру плівки, а також досліджувати розподіл температури по плівці.

Тому, Гаврилюком О.О. було запропоновано, використовуючи рівняння Фур'є, змоделювати розподіл температури в плівці SiO_x . При описанні процесу лазерного нагріву речовини, суттєвими є дві обставини. По-перше, внаслідок проникнення світла в глибину середовища оптичні теплові джерела є, як правило, об'ємними, а не локалізованими, наприклад, на його межах, як це буває в задачах про звичайний температурний нагрів. По-друге, виділення оптичної енергії відбувається неоднорідно по об'єму взаємодії через зменшення інтенсивності світла при його проникненні в глибину середовища. Остання обставина призводить до просторово-неоднорідного нагріву речовини та викликає процеси тепло- та масо- переносу між різними ділянками середовища.

В роботах Гаврилюка О.О. розглянуто теоретичні моделі формування наночастинок Si при термічному відпалі. Розв'язано рівняння теплопровідності з лазерним джерелом нагріву для двовимірної моделі розповсюдження температурних профілів в структурі SiO_x . Теоретичні розрахунки показали, що при інтенсивності лазерного випромінювання 52 МВт/см^2 температура на її поверхні може досягати 1800 К , достатньої для розділення фаз речовини плівки на діоксид кремнію і наночастинки кремнію, що добре узгоджується з експериментальними результатами, які вказують, що поділ фаз розпочинається при інтенсивності 50 МВт/см^2 . Показано, що розподіл температури в нестехіометричній плівці SiO_x по об'єму є неоднорідним, що може спричиняти утворення різного розміру наночастинок кремнію.

Гаврилюком О.О. було розраховано розподіл температури в даній структурі під дією двох лазерних пучків. Створена під дією двох лазерних пучків максимальна температура поверхні плівки SiO_x в центрі дії кожного

лазерного променя не залежить від відстані між пучками. При цьому температура, що встановлюється в проміжку між областями дії променів, недостатня для стимулювання переходу плівки SiO_x в нанокompозитну структуру $\text{SiO}_2(\text{Si})$ з кремнієвими наночастинками; як наслідок, ці частинки будуть утворюватись точно по позиціях пікової інтенсивності лазерного випромінювання.

Розраховано розподіл температурних профілів від дією декількох імпульсів.

Основні результати, що включені в наукову роботу, пройшли достатню апробацію на міжнародних конференціях і наукових семінарах.

Результати наукового внеску викладені у наукових статтях і колективній монографії. Загальний h-індекс цитування складає 2 та кількість цитувань 4 згідно бази даних Scopus (h-індекс 4 та кількість цитувань 34 згідно Google Scholar). Роботи Гаврилюка О.О. виконані протягом 2012-2016 рр.

кандидат фізико-математичних наук
науковий співробітник

Гаврилюк О.О.

Директор Інституту хімії поверхні
ім. О.О. Чуйка НАН України
академік НАН України,
д.х.н., професор



Картель М.Т.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601 тел. 239-33-33

21.02.2018 № 04/130-08

На № _____

На здобуття щорічної премії
Президента України
для молодих учених

Довідка

про творчий внесок

у цикл наукових праць «**Лазерний відпал нестехіометричних плівок SiO_x** »
кандидата фізико-математичних наук Інституту високих технологій
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Пилипової Ольги Вікторівни

На сьогодні є ряд технологій формування нанокompозитних плівок $\text{SiO}_2(\text{Si})$, і кожна з них володіє перевагами та недоліками. На початковому етапі формується плівка SiO_x збагачена кремнієм різними методами: осадження з газової фази при низьких тисках, іонно-плазмове напилення, плазмохімічне осадження, тощо. Для трансформації її в плівку $\text{SiO}_2(\text{Si})$ активно використовується термічний відпал. Як альтернативу, можна використовувати лазерний відпал, який також може бути використаний для трансформації вихідних збагачених кремнієм плівок SiO_x в нанокompозитні плівки $\text{SiO}_2(\text{Si})$, перевагою його є те, що з використанням цього методу можна локально формувати включення кремнієвих нанокристалів (НК) в діелектричній матриці.

В роботах Пилипової Ольги Вікторівни показані експериментальні результати дослідження лазерного відпалу нестехіометричних плівок SiO_x . Ольга Вікторівна досліджувала можливість використання лазерного відпалу, як альтернативу термічному відпалу, для локального формування кремнієвих кристалічних нановключень. Оптимізувала режими лазерного відпалу, при яких можуть бути отримані нанокompозитні плівки $\text{SiO}_2(\text{Si})$ з НК кремнію в діелектричній матриці SiO_2 для подальшого застосування в енергонезалежних комірках нанокристалічної пам'яті.

Для дослідження структурних змін після лазерного опромінення плівки, залежно від його інтенсивності, Пилипова О.В. використовувала атомно-силову мікроскопію (АСМ) і ІЧ спектроскопію. У результаті було отримано, що після відпалу з довжинами хвиль лазера $\lambda = 1064$ нм і $\lambda = 532$ нм в діапазоні інтенсивностей

$I = 10-112$ МВт/см² відбувається зміна морфології поверхні з появою нановключень.

Відпал при довжині хвилі лазера $\lambda = 1064$ нм і інтенсивності $I = 10$ МВт/см² не зумовив формування значної кількості nanoострівців. При інтенсивності 10 МВт/см² трансформації плівки не відбувається. Це очевидно, пов'язано з недостатньою енергією лазерного імпульсу при довжині хвилі 1064 нм та інтенсивності, для початку коагуляції кремнієвих нановключень. При більшій інтенсивності лазерного опромінення $I = 54$ МВт/см² поверхнева густина острівців становила $2,7 \times 10^{10}$ см⁻², і висота наближалась до 50 нм. Це пов'язано з тим, що при більшій інтенсивності, кремнієва підкладка, в якій поглинається світло більше нагрівається, і відповідно, енергії достатньо для фазових перетворень в плівці SiO_x. Подальше збільшення інтенсивності приводить до появи нановключень, але монотонної залежності висоти вістрів від інтенсивності не спостерігається. Разом з тим збільшення інтенсивності призводить до більшого розкиду розмірів nanoострівців. Таким чином, Пилиповою Ольгою Вікторівною було встановлено, що початок формування кремнієвих нановключень починається при опроміненні інтенсивністю $I = 14$ МВт/см², а кристалічні нановключення Si при $50 \leq I \leq 114$ МВт/см². Для з'ясування природи відпалених лазером плівок використали метод ІЧ спектроскопії, як основного методу визначення складу оксидної фази. З аналізу ІЧ спектрів пропускання до і після відпалу при $I = 10$ МВт/см² мінімум спектрів не змінився, що свідчить про те, що при даній інтенсивності не відбувається трансформації нестехіометричної оксидної плівки ($x \approx 0,98$) в стехіометричну плівку SiO₂(Si), але спостерігається перерозподіл інтенсивностей елементарних смуг. Площа смуги, пов'язана з комплексом Si-O-Si₃ після відпалу дещо зменшилася, а площі смуг Si-O₂-Si₂, Si-O₃-Si, збільшилися. Показано, що основна ІЧ смуга поглинання SiO_x плівки з положенням максимуму $\nu_{M1} = 1032$ см⁻¹ ($x = 0,98$), після відпалу, помітно зміщується у високочастотну область до $\nu_{M2} = 1073$ см⁻¹ ($x = 1,76$), із суттєвим збільшенням площі. Аналогічний зсув ІЧ спектрів пропускання спостерігається при термічному високотемпературному відпалі.

З проведеного порівняльного аналізу залежності густини електричного струму через плівки SiO_x від температури відпалу і від інтенсивності лазерного опромінення, було показано, що загальний характер кривих є подібний. З підвищенням $T = 900-1100$ °С структура упорядковується та відповідно формується кристалічний кремній, і з'являються стани провідності на границі розділу нанокристалів Si та діелектричної матриці SiO₂, провідність в плівках у переважній більшості обумовлена цими станами і тунелюванням через нанокристали кремнію. Цей факт використовують при розробці структур енергонезалежної нанокристалічної пам'яті на основі плівок з нанокристалами кремнію. Також проведено дослідження механізмів

провідності плівок відпалених при інтенсивностях лазерного опромінення $I = 10 \text{ МВт/см}^2$, $I = 50 \text{ МВт/см}^2$ та $I = 100 \text{ МВт/см}^2$.

Основні результати, що включені в цикл наукових праць, пройшли достатню апробацію на міжнародних конференціях і наукових семінарах. Дослідження фізичних властивостей нанокompatитних напівпровідникових структур на основі кремнію включені в роботу Інституту високих технологій.

Результати наукового внеску викладені у наукових статтях, у колективній монографії. Загальний h-індекс цитування складає 2 згідно бази даних Scopus. Роботи Пилипової О.В. виконані протягом 2013-2017 рр.



Ректор

Претендента

Л.В. Губерський

О.В. Пилипова

Л.В. Губерський

О.В. Пилипова