

УДК 539.12.04

Ю. Нікіфоров, О. Сіткар

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ВПРОВАДЖЕННЯ НАНОТРУБОК ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРА

Дана робота присвячена аналізу фізичної моделі впровадження нанотрубок в твердотільну матрицю та комп'ютерному розрахунку відповідно прийнятої моделі.

Модель побудована на основі експериментальних результатів впровадження нанотрубок в алюмінієву підкладку за допомогою лазера, що працює в режимі модульованої добротності [1,2].

Відповідно до експериментів обрано коефіцієнт k , що визначається енергетичними параметрами випромінювання лазера, теплофізичними властивостями нанотрубок та підкладки, а також їх оптичними характеристиками.

Враховано насипний характер розташування трубок і, виходячи із коефіцієнта k , оцінено ефективну площу поверхні опромінених нанотрубок. Під ефективною площею поверхні нанотрубок розуміється сумарна площа поверхонь нанотрубок, що поглинають випромінювання і екранують нагрівання підкладки. Нанотрубки можуть розташовуватись горизонтально та вертикально в площині підкладки чи хаотично.

Граничні умови моделі виключають шари, що повністю перекривають поверхні підкладки. При цьому вони повинні враховувати ефективний коефіцієнт поглинання нанотрубок при наявності плазми, викликаної нагріванням поверхневого шару нанотрубок лазерним випромінюванням.

Ймовірність впровадження залежить від кількості енергії, що попадає на підкладку, її температури плавлення та тривалості дії опромінення. Внаслідок різного виду розташування змінюється ефективна площа поверхні, що в свою чергу призводить до зміни значення коефіцієнта k .

Отримано формулу для визначення ефективної площі, яка враховує характер розташування нанотрубок:

$$S_{ef} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{\pi/2} ab \cdot \cos[(n+1)\alpha_0],$$

де a – діаметр нанотрубки;

b – довжина нанотрубки;

α_0 – початкове положення нанотрубки;

m – кількість шарів нанотрубок

Розрахунок S_{ef} дозволив оцінити енергії необхідні для впровадження нанотрубок в підкладки з матеріалів із різними оптичними характеристиками і відповідає отриманим експериментально результатам. Запропонована методика дає можливість визначати усереднену густину нанотрубок при їх насипному характері, що є важливим в дослідженні електричних та емісійних властивостей нанотрубок [3].

1. Yuriy Nikiforov. Modeling of implantation of carbon nanotubes into solid substrate / Yuriy Nikiforov, Mihajlo Nischenko, Bogdan Kovalyuk, Oksana Manyovska. — Book of abstracts of European Materials Research Society „E-MRS 2010 Fall Meeting”. – Warsaw (Poland) September, 2010.

2. Ю. Нікіфоров. Впровадження нанотрубок в твердотільну матрицю за допомогою потужного лазера із модульованою добротністю / Ю. Нікіфоров, Б. Ковалюк, В. Гладь, О. Маньовська // Прогресивні технології та прилади: збірник статей. – Луцьк: ЛНТУ, 2011. – Випуск 1. – С. 136–146.

3. Нищенко М.М. Электрические и эмиссионные свойства углеродных нанотрубок и их композитов. НАНСИС– 2007, С. 17.