

**А.О. МЕЙЛЕХОВ, О.В. СОБОЛЬ**, докт. фіз.-мат. наук, професор

**Моделювання процесу іонно-плазмової імплантації під впливом високовольтного імпульсного потенціалу при формуванні вакуумно-дугових покриттів нітриду титана**

Підвищений інтерес, що проявляється дослідниками за останнє десятиліття до покриттів на основі нітридів і карбідів тугоплавких металів, пов'язаний з вдалим поєднанням у них високої твердості з зносостійкістю і хімічною стабільністю, що зробило такі покриття дуже перспективними для різноманітного промислового використання. На жаль, фізико-механічні характеристики отриманих при цьому покриттів досить істотно різняться (іноді на порядки величин) залежно від техніки осадження та конкретних параметрів процесу зростання. Одним з найбільш широко використовуваних матеріалів покриття є нітрид титану [1].

Метою дослідження є проведення аналізу впливу на структуру, пружно напружено-деформований стан і механічні властивості TiN покриттів високовольтного імпульсної стимуляції процесу осадження та моделювання імплантаційних процесів.

Зразки були отримані при використанні модернізованої вакуумно-дугової установки «Булат-б» з генератором високовольтних імпульсів, який дозволяв в процесі осадження поряд з постійним потенціалом подавати на підкладку імпульси негативного потенціалу ( $U_{\text{пн}}$ ) амплітудою -850 В, -1000 В, -1200 В, -2000 В тривалістю  $\tau=4, 10$  або 16 мкс і частотою проходження 7 кГц. Ток дугового розряду в випарнику ( $I_{\text{д}}$ ) становив 100 .. 110 А, тиск азоту  $P_{\text{N}} = 0,6$  Па.

В ході досліджень встановлено оптимум величини імпульсного потенціалу зміщення при якому спостерігається значне зростання твердості і зносостійкості (рис. 1).

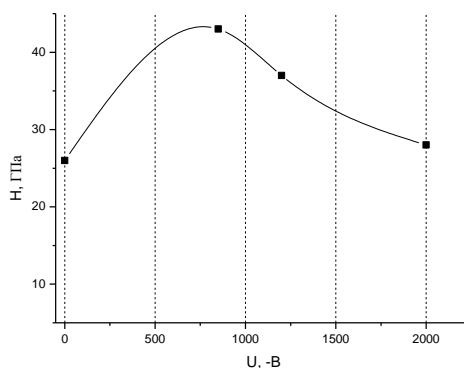


Рис. 1 – Залежність зміни твердості покриттів від напруги поданого високовольтного імпульсу в процесі осадження для тривалості імпульсу 10 мкс

Оптимум відповідає  $U_{\text{пi}} \approx 1$  кВ. Для пояснення появи оптимуму запропонована модель дворівневої імплантації, відповідно до якої подача постійного потенціалу (до -230 В) забезпечує приповерхневу імплантацію, а імпульсний високовольтний потенціал  $U_{\text{пi}} = (0,8 - 2)$  кВ призводить до імплантації з релаксаційним каскадоутворенням [2].

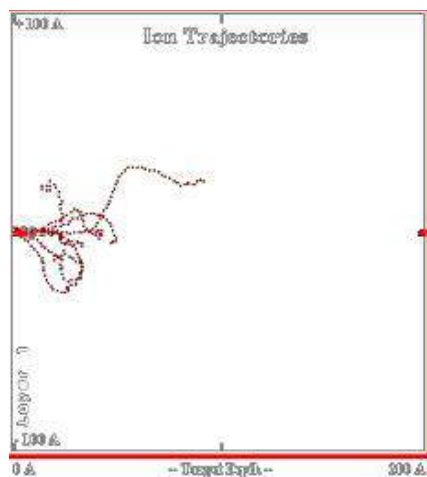


Рис.2 – Система TiN, іони азоту, енергія 1200 еВ, 10 ітерацій

Використовуючи програму TRIM [3] проведено моделювання процесів, що відбуваються під час іонної імплантації, розпилення та іонно-променевого перемішування. Моделювання проводилось у режимі “Monolayer Collision Steps/ Surface Sputtering”, який найбільше відповідає вимогам для отримання реальних плівок TiN. Під час моделювання в цьому режимі враховуються всі каскадні пошкодження. Кожен атом спостерігається до того часу, доки його енергія не впаде нижче мінімальної порогової енергії зміщення будь-якого атома мішені. Таким чином, аналізуються всі ушкодження мішені, що виникли під час зіткнень.

Проведено комп'ютерне моделювання дозволило встановити, що при зміні енергії під час утворення покриттів TiN змінюються процеси, які впливають на утворення вакансій, напружений стан, товщину та структуру покриттів. Результати моделювання порівняні з реальними експериментами. Встановлено, що подача високовольтного імпульсного потенціалу зміщення підвищує рухливість частинок і призводить до релаксаційних процесів при каскадоутворенні. Останнє забезпечує зниження ростових напружень стиснення і разорієнтацію зерен-кристалітів при малому постійному  $U_{\text{пi}}$ .

#### Список літератури:

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справочник / Под ред. Т.Я.Косолаповой. - М.: Металлургия, 1986. -928 с.
2. O. V. Sobol', A. A. Andreev, S. N. Grigoriev, V. F. Gorban', M. A. Volosova, S. V. Aleshin, V. A. Stolbovoi Effect of high-voltage pulses on the structure and properties of titanium nitride vacuum-arc coatings Metal Science and Heat Treatment July 2012, Volume 54, Issue 3-4, pp 195-203
3. <http://www.srim.org/SRIM/SRIMLEGL.htm>