

УДК 537.525:546.29:532.72

Мазанко В.Ф., докт. техн. наук, професор

Герцикен Д.С., канд. физ.-мат. наук, ст. наук. співробітник

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, м. Київ, vmazanko@imp.kiev.ua

ВЗАЄМОДІЯ МІДІ С КРИПТОНОМ ТА КСЕНОНОМ У ЖЕВРІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

При дослідженні процесу насичення криптоном мідної фольги товщиною 10 мкм за методикою [1] було встановлено, що при ~ 500 К параметр ґратки a (в областях, які містять газ) змінюється пропорційно часу іонного бомбардування τ :

τ	0	15 с	20 хв.	1 год.	18 год.	2 діб
a , нм	0,36184	0,36189	0,36205	0,36217	0,36232	0,36249

При цьому щільність міді ρ , що містить інертних газ, зменшилась із зростанням, τ і після 48 год. обробки досягла значення 8,3399 г/см³ ($\rho_{\text{вих}} = 8,89278$ г/см³). Кількість атомів, які

приходяться на елементарну комірку n_a , розрахована за формулою $n_a = \frac{\rho \cdot a^3}{A_{\text{ср}} \cdot 1,65 \cdot 10^{-24}}$, становить 3,6. При 15 с величина $n_a = 4$, а при 1 год. – 3,9. Тобто спостерігається перехід від твердого розчину заміщення до твердого розчину вилучення подібно до того, що впливає з аналізу результатів робіт, проведених на алюмінії [1].

У той же час зміна ваги зразка при обробці в розряді, що жевріє (~ 500 К характеризується немонотонною залежністю від часу впливу:

$\Delta\tau$	15 с	30 с	1 хв.	5 х.в	20 хв.	45 хв.	1,5 год.	3 год.	8 год.
$\Delta\rho$, мг	0,05	0,35	0,15	-0,10	-0,13	-0,21	-0,37	-0,45	-0,78

При іонній обробці з нагріванням максимальний приріст, що становить 0,31 мг, спостерігається при 15 с (при 5 с бомбардування $\Delta\rho = 0,09$ мг), а зменшення ваги починається з 2 хвилин обробки. За 8 годин розпорошується майже 1 мг. При охолодженні в процесі іонного бомбардування $\Delta\rho_{\text{max}} = 0,44$ мг при 1 хв. впливу, зменшення ваги спостерігається після 6,5 хвилин, а за 8 годин воно становить близько 0,63 мг. Таким чином, вміст газу на поверхні визначається часом і температурою обробки, а від цих параметрів залежить десорбція, розпилення, пороутворення і рухливість атомів інертного газу в приповерхневому шарі.

Аналогічні залежності отримано для ксенону. В цьому випадку вплив часу та температури обробки на розпилення поверхні виражено сильніше. Так, при 8 год. бомбардування іонами ксенону спад ваги зразка при ~ 500 К становить 1,01 мг. При 300 і 700 К $\Delta\rho_{\text{max}} = 0,88$ та 1,29 мг.

Розглянемо проникнення ксенону в мідь для обробки без нагрівання (рис. 1).

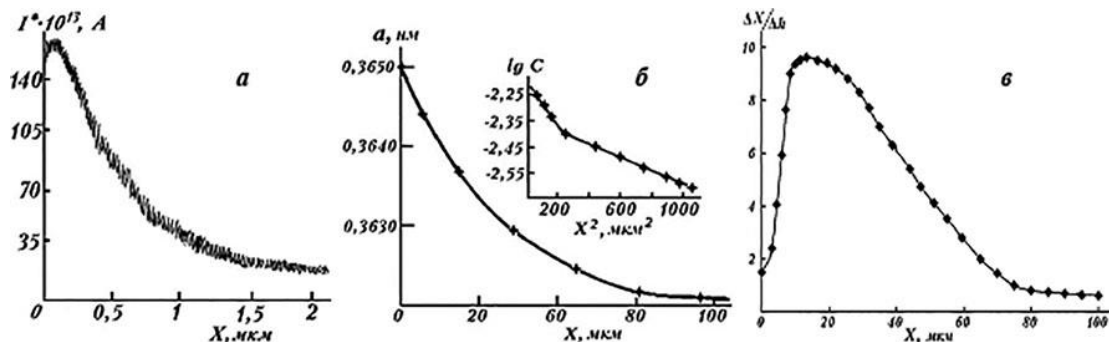


Рис. 1 – Концентраційні профілі розподілу атомів ксенону в міді (30 год.) при 500 К.

Поява максимуму (рис. 1, а) пов'язана з тим, що глибина проникнення іонів інертного газу при взаємодії з твердим тілом визначається їхньою початковою енергією, тобто швидкістю і масою, і гальмівною здатністю оброблюваного матеріалу. При цьому тонкий приповерхневий шар, що сформувався, є джерелом, з якого атоми інертного газу проникають у глибину речовини. Тобто проникнення інертних газів відбувається у 2 етапи. Перший етап поглинання іонів інертного газу поверхнею металу є кінетичним і воно описується рівнянням Фоккера-Планка [1]. Аналіз форми експериментально визначеного профілю (рис. 1, б) за межами максимуму показує, що він відповідає квадратичній залежності логарифму концентрації дифундуючих атомів від глибини проникнення, що, як відомо, є ознакою прояву об'ємного механізму дифузії.

При тривалій обробці в тліючому розряді, особливо при бомбардуванні важкими іонами, починаючи з певного значення часу впливу, в дифузійній зоні утворюються 2 області з різною дифузною проникністю для мігруючих атомів інертних газів (рис. 1, б). При цьому коефіцієнти дифузії в приповерхневому шарі, розташованому від поверхні до глибини, на якій має місце злам в залежності $\lg C = f(X^2)$, нижче, ніж на більших глибинах. Це пов'язано з низкою причин, зокрема розпорошенням поверхневого шару, тобто зменшенням глибини проникнення, бар'єрною дією твердого розчину метал-інертний газ і пір, що містять інертний газ, кількість яких зменшується з глибиною.

Зазначимо, що зі збільшенням маси іона, особливо при підвищених температурах, розпилення йде більш інтенсивно і формування тонкого шару твердого розчину, що служить джерелом проникаючих в метал атомів, у кожен момент часу в процесі обробки відбувається все далі від поверхні, що опромінюється (рис. 1, в). В цьому випадку за міру концентрації взято відношення глибин проникнення, виміряної за допомогою мікроскопа ΔX і отриманої зважуванням залишку після зняття шару Δh .

При обробці без додаткового нагрівання або охолодження максимальна концентрація ксенону в міді знаходиться на глибині ~ 8 мкм, а при охолодженні до 300 К величина зсуву концентраційного максимуму не перевищує 5 мкм. При цьому відмінність у значеннях виміряної та обчисленої координати шару, якому відповідає максимальний вміст газу в порах ($C_{max} \sim \Delta X/\Delta h$), становить відповідно 8,1 та 7,4 рази. Порівняння цих результатів зі значеннями C_{max} і X_{max} , властивими для 700 К, показує, що виникнення та зростання пір, що характеризуються величиною C_{max} , та розпилення поверхневого шару, тобто величина X_{max} нелінійно залежать від температури, істотно зростаючи при 700 К (рис. 2).

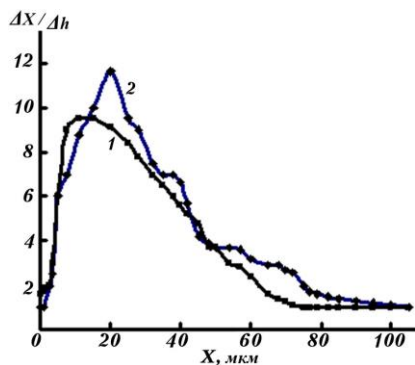


Рис. 2 – Розподіл Хе у Си після іонного бомбардування протягом 26 год. (1) та після відпалу протягом 1 год. (2) при 700 К.

Зазначимо, що різниця між профілями розподілу атомів ксенону у міді, приведеними на рис. 1 б, в та рис. 2, крива 1 (при ~ 500 і ~ 700 К), викликана не так температурою, скільки виявленням різних об'єктів – у першому випадку реєструються переважно газові пори, тоді як у другому – концентрація інертного газу твердому розчині.

Як впливає з рис. 2, після відпалу зросла пористість, і щільність речовини на відстані ~ 25 мкм зменшилася ще на ~ 20 %. У той же час у приповерхневому шарі до 1 мкм щільність відпаленого зразка повернулася до значення, що характеризує мідь у вихідному стані, тобто відбулася термодесорбція.

Список посилань

1. Герцрикен Д.С. Тлеющий разряд и инертные газы в металлах / Д.С. Герцрикен, В.М. Тышкевич – Киев: Академперіодика, 2006. – 280 с.