

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛАЗЕРНОЇ ПЛАЗМИ АЛЮМІНІЮ ПРИ РІЗНИХ ТИСКАХ ПОВІТРЯ

**Л.В. Месарош, М.П. Чучман, О.К. Шуаїбов, І.Е. Качер,
Г.Е. Ласлов**

Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000
e-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Представлено результати дослідження інтенсивності свічення лазерної плазми Al при різних віддалях від мішені, інтенсивностях лазерного випромінювання $(3,8; 4,5) \times 10^8$ Вт/см² і залишкових тисках повітря 8, 11 і 53 Па. Одержано осцилограми свічення лазерної плазми. Встановлено, що тривалість свічення лазерної плазми складає 50 мкс і основний максимум спостерігається при 1,4 мкс. На часових залежностях інтенсивність максимуму інтегрального свічення зі зменшенням тиску повітря в камері з 53 Па до 11 Па монотонно зростає.

Вступ

Алюміній використовується як відбиваюче покриття для металічних дзеркал, оскільки він має високий і стабільний у широкому спектральному діапазоні коефіцієнт відбивання [1]. Плівки AlN, отримані шляхом випаровування Al в атмосфері азоту, використовуються як буферні шари [2, 3]. Внаслідок складності процесів, які відбуваються при їх синтезі, значних флуктуаціях параметрів плівкових структур, лазерне випаровування Al в атмосфері азоту представляє значний науковий і практичний інтерес.

В роботах [4, 5] було показано, що на поверхні AlN спостерігається явище ефективного формування наночастинок, склад яких відповідає складу мішені при фемтосекундній лазерній абляції поліатомних мішеней. Основною областю застосування нітридів алюмінію є люмінесцентні джерела світла з високою ефективністю випромінювання [6].

За останні роки було проведено ряд досліджень лазерної плазми Al, яка утворюється за допомогою імпульсів генерації неодимового лазера тривалістю 20 нм і поширюється у вакуумі. Процеси утво-

рення нітридів Al вивчені недостатньо. Особливу цікавість викликає синтез наноструктур на основі нітридів металів третьої групи для їх використання в нанoeлектроніці. Одержання якісних нітридних тонких шарів заданого складу становить значну технологічну проблему. При дослідженні лазерного факела виникає ряд труднощів внаслідок малого інтервалу часу існування та малих розмірів плазми, що вимагає застосування методів діагностики з високим часовим і просторовим розділенням [7, 8].

Одним із найбільш перспективних способів вирішення цієї проблеми є метод імпульсного лазерного напилення. Вивчення характеристик Al у лазерному факелі дозволяє більш обґрунтовано обрати режим розпилення мішені з метою синтезу наноструктур з керованими властивостями.

Техніка та методика експериментів

Як джерело лазерного випромінювання використовувався імпульсно-періодичний неодимовий лазер “ЛТИПЧ-4”, який працює в імпульсному режимі модульованої добротності і вільної гене-

рації. Частота повторення імпульсів генерації лазера складала 12 Гц, довжина хвилі генерації - 1,06 мкм, тривалість імпульсів генерації на половині висоти - 20 нс. Лазерне випромінювання фокусувалось лінзою $F = 50$ см у пляму діаметром 0,4-0,5 мм, що дозволяло одержати питому потужність $(3 - 5) \times 10^8$ Вт/см².

Для юстування Nd-лазера використовувався He-Ne лазер "ЛГН-207Б", а для контролю потужності випромінювання прилад "ИМО-2". Енергія несфокусованого лазерного променя в імпульсі досягала 30 мДж. Мішень з чистого алюмінію розміщувалася у вакуумній камері при тиску залишкових газів 8-53 Па.

Відбір випромінювання здійснювався з всієї ділянки свічення плазми за допомогою імпульсного фотоелектронного помножувача ФЕУ «ФОТОН», сигнал реєструвався за допомогою осцилографа С1-99. Фотографії зроблені за допомогою цифрової фотокамери з розділенням 1200×1600 пікселів.

Обговорення результатів

Для з'ясування яким чином впливає зміна зовнішніх умов (у цьому випадку зміна тиску) на інтенсивність випромінювання лазерної плазми алюмінію, а також на тривалість випромінювання цієї плазми проводилася серія експериментів. Для цього підбрано такі умови, які дозволяють отримати залежності $I(t)$ з усієї ділянки випромінювання плазми.

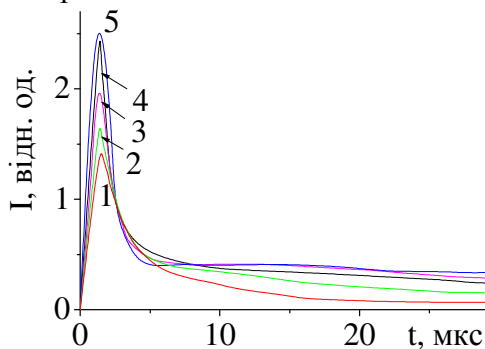


Рис. 1. Осцилограми інтегрального свічення лазерної плазми при різних тисках у вакуумній камері: 1 – 53; 2 – 27; 3 – 24; 4 – 19; 5 – 11 Па.

При таких умовах для визначення тривалості випромінювання лазерної плазми побудовано осцилограми (рис.1), які показують, що тривалість свічення плазми у середньому є величина порядку 50 мкс. Максимум спостерігається при 1,4 мкс і відображає виникнення лазерного факелу. Похибка вимірювання складає 10 %.

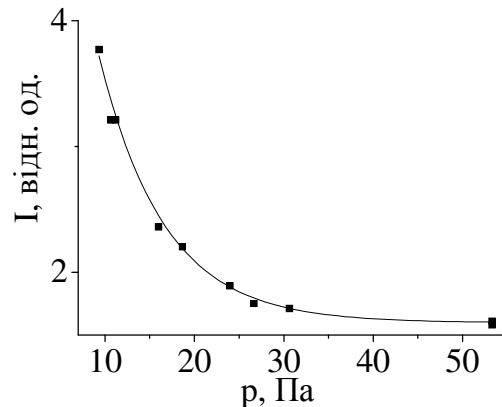


Рис. 2. Залежність максимуму інтегральної інтенсивності випромінювання плазми лазерного факела від тиску в вакуумній камері. Лінією показано апроксимацію експериментальних даних експонентою.

На рис. 2 показано залежність інтенсивності випромінювання від тиску повітря в вакуумній камері. Інтенсивність випромінювання зі збільшенням тиску зменшується згідно залежності $I \sim e^{-p}$. Найбільша інтенсивність спостерігається при тиску 11 Па, а найменша при тиску 53 Па. Така залежність пояснюється тим, що при низьких тисках взаємодія лазерного факела з газами проявляється менше. Оскільки основним процесом у лазерній плазмі є рекомбінація і збільшення тиску приведе до зменшення кількості рекомбінуючих іонів через взаємодію з молекулами оточуючого газу та передачу їм певної кількості енергії, то відповідно інтенсивність випромінювання зменшується. Також рекомбінаційні процеси відбуваються інтенсивніше через збільшення ефективності обміну енергією між частинками всередині лазерного факела. Через це і тривалість випромінювання зі збільшенням тиску зменшується.

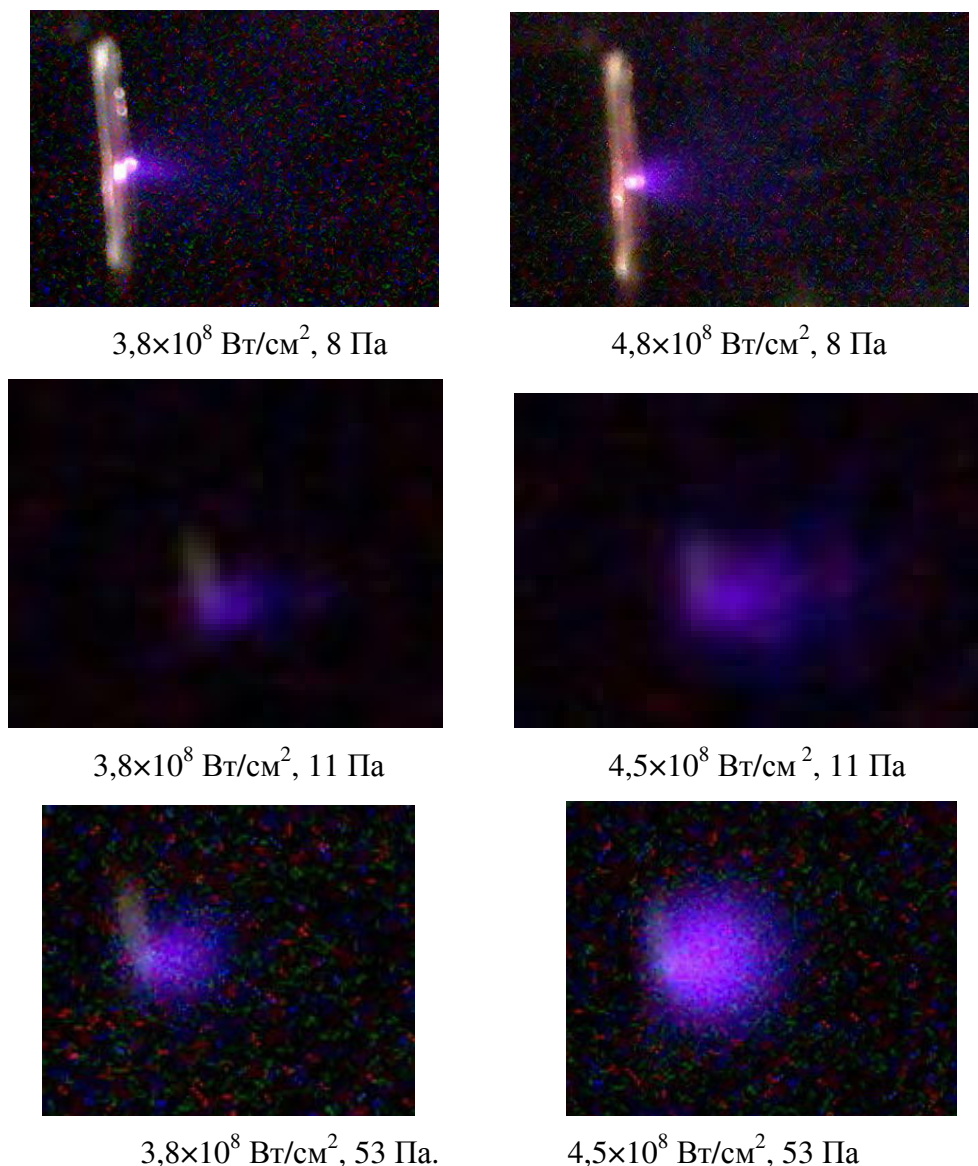


Рис 3. Фотографії лазерної плазми алюмінію при різних тисках у вакуумній камері і при різних густинах потужності випромінювання неодимового лазера.

Для аналізу просторової структури лазерної плазми зроблені фотографії, які представлені на рис. 3. Як видно з фотографій, плазма, яка виникає на поверхні мішені з алюмінію, світить синім кольором. Це є підтвердженням того, що найбільш інтенсивні спектральні лінії атомів та іонів алюмінію лежать у синій області спектра.

На основі фотографій при тиску 8-9 Па і потужності $4,8 \times 10^8$ Вт/см² можна оцінити розміри лазерного факела: довжина - 1,6 см, ширина - 1,25 см. Розміри найбільш яскравої області факела: дов-

жина - 0,54 см, ширина - 0,36 см. Розміри ядра лазерного факела - 0,18 см. Ці фотографії підтверджують осцилографічні виміри і показують, що інтенсивність випромінювання лазерного факела зростає зі збільшенням вкладеної в мішень енергії. Обробка фотографій дозволила побудувати залежність інтенсивності випромінювання лазерної плазми від відстані до мішені згідно аналізу центральної ділянки факела, яка знаходиться на нормалі до мішені. Такі дані представлені на рис. 4 при тиску 8-9 Па. Найбільша інтенсивність свічення факела спостерігається при

відстані до 0,3 см від мішені. Це означає, що у цій ділянці найбільша концентрація частинок, які випромінюють.

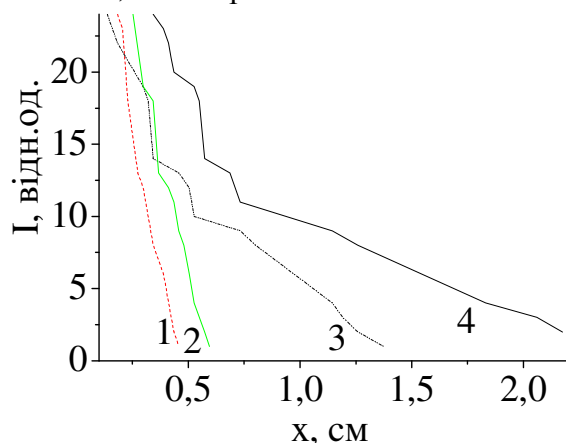


Рис. 4. Залежність інтенсивності інтегрального випромінювання лазерної плазми від відстані до мішені при різних тисках в вакуумній камері: 1 – 133; 2 – 53; 3 – 13; 4 – 7 Па.

Як видно з рисунка, зі збільшенням відстані від 0,3 см до 0,7 см інтенсивність факела різко падає. Швидке падіння інтенсивності пояснюється нами тим, що форма факела перестає бути витягнутою вздовж нормалі до поверхні мішені, а розширення одновимірним. Але на відстані 0,7 см від мішені швидкість зменшення інтенсивності знову змінюється, значно сповільнюючись. Це та відстань, на якій між лазерним факелом і оточуючими газами відбувається взаємодифузія.

При тиску 9-11 Па факел має видовжену форму до відстані майже 1 см від мішені, далі розширюється тривимірно. Це особливо добре видно після видалення

з фотографій всіх кольорів, крім синього, за допомогою програми Photoshop. Зі збільшенням тиску форма факела стає сферичною, а далі починає розширюватися тривимірно. При збільшенні тиску до 53 Па розмір факела зменшується до 0,5 см. Зміна розмірів факела відбувається за рахунок впливу оточуючого газу, який притискає його до мішені.

Висновки

Вивчено інтенсивність свічення лазерної плазми Al при різних віддальх від мішені, інтенсивностях лазерного випромінювання $(3,8; 4,5) \times 10^8$ Вт/см² і залишкових тисках повітря 8, 11 і 53 Па. Одержано осцилограми свічення лазерної плазми.

Встановлено, що тривалість свічення лазерної плазми складає 50 мкс і основний максимум спостерігається при 1,4 мкс. Максимальна інтенсивність інтегрального свічення зі зменшенням тиску повітря в камері з 53 Па до 11 Па монотонно зростає у 1,8 разів. Пороги свічення лазерної плазми не залежать від тиску повітря в межах від 11 до 53 Па. Інтенсивність інтегрального за довжинами хвиль випромінювання лазерної плазми зростає при зменшенні тиску газу в вакуумній камері.

Література

1. Я. Рабек. Экспериментальные методы в фотохимии и фотофизике. М: Мир, 1985, 68 с.
2. M. A. Sánchez-García, E. Calleja, E. Monroy, F. J. Sánchez, F. Calle, J. Cryst. Growth 170, 329 (1999).

3. I. Grzegory, M. Bockowski, B. Lucynik, J. Mater. Sci. Semicond. Process. 4, 535 (2001).
4. S.S. Harilal, C.V. Bindhu, M.S. Tilkack, J. Appl. Phys. 93, 2380 (2003).
5. O. Albert, S Roger, Y. Glinec, J. C. Loulergue, J. Etchepare, C. Boumer-

Leborgne, J. Perriere, E. Millon, J. Appl. Phys. 90, 456 (2003).

6. Y. Danylyk, D. Romanov, E McCullen, Mat. Res. Soc. Proc. 743 (2003).

7. М.П. Чучман, А.К. Шуайбов, Физика плазмы 34, 12 (2008).

8. Б.К. Котлярчук, Д.І. Попович, А.С. Середняцький, Фізика і хімія твердого тіла 5, 481 (2004).

THE INVESTIGATION OF ALUMINIUM LASER PLASMA RADIATION AT DIFFERENT AIR PREASURES

**L.V. Mesarosh, M.P. Chuchman, A.K. Shuaibov, I.E. Kacher,
G.E. Laslov**

Uzhgorod National University, Pidgirna Str., 46, Uzhgorod, 88000
e-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

The emission intensity of Al laser plasma at different distances to the target under the laser radiation power of $(3.8 \text{ and } 4.5) \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ and ambient gas pressure from 8 to 53 Pa is investigated. The laser plasma emission oscillograms are obtained. The duration of the laser plasma emission is shown to be 50 μs , its maximum brightness is obserbed at 1.4 μs . The maximum of the integrated emission intensity monotonously increases with the decrease ofthe air pressure in the vacuum chamber from 53 to 7 Pa.

