

УДК 533.93; 533.95

Л.В. Месарош, О.К. Шуаїбов, М.П. Чучман

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Підгірна, 46  
e-mail: liviamesarosh@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕМІСІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОЇ ПЛАЗМИ АЛЮМІНІЮ

Представлено результати дослідження емісійних характеристик лазерної плазми алюмінію. Наведено спектри випромінювання лазерного факелу алюмінію для довжин хвиль  $\lambda = 275\text{-}425$  нм на відстані 1 мм від мішені. Досліджено осцилограми випромінювання лазерної плазми алюмінію в діапазоні  $\sim 200$  нс, найбільш інтенсивний максимум спостерігається при часі  $t = 20$  нс. Встановлено, що часи рекомбінації однозарядних іонів алюмінію при часі спостереження  $\sim 20\text{-}50$  нс, становлять 28,6 нс, та  $\sim 94,4$  нс при  $t \geq 50$  нс.

**Ключові слова:** лазерна плазма алюмінію, емісійні характеристики, час рекомбінації, осцилограми випромінювання.

### Вступ

Спектроскопічні дані забезпечують інформацію про просторову і часову еволюцію частинок, які утворилися при дії лазерного випромінювання на мішень, як наприклад, збуджені атоми, іони або молекули [1]. Інформацію про мішень і лазерну плазму можна отримати шляхом дослідження області біля поверхні мішені на ранніх етапах її формування. Поведінка частинок плазми, істотна для формування тонких плівок, вивчається, як правило при більших відстанях від мішені. Вивчення динаміки абльованого матеріалу може допомогти зрозуміти і керувати цим процесом [2].

Розробка приладів, призначених для використання в УФ області спектру, пов'язана із застосуванням широкозонних матеріалів, які працюють в режимах високої напруги і температур [3]. Абляція Al в атмосфері азоту є ефективним способом синтезу нітриду алюмінію. Основною областю його застосування є люмінесцентні джерела світла з високою ефективністю випромінювання в області ультрафіолету [4]. Тому метою нашої роботи було отримати дані про компонентний склад, що в свою чергу, можна використати для спектроскопічної діагностики плазми, динаміки випромінювання та процесів рекомбінації, які

визначають характерні часи зміни її іонізаційного стану.

### Техніка та методика експерименту

В якості джерела випромінювання використано імпульсно-періодичний неодимовий лазер "ЛТИПЧ-5", який працював в режимі модульованої добротності. Частота повторення імпульсів генерації лазера складала 12 Гц, довжина хвилі генерації 1,06 мкм, тривалість лазерних імпульсів на половині висоти - 20 нс. Лазерне випромінювання фокусувалось лінзою  $F = 50$  см у пляму діаметром 0,4 - 0,5 мм, що дозволяло одержати густину потужності  $4 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>. Мішень з чистого алюмінію розміщувалася у вакуумній камері при тиску залишкових газів (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) 7 Па.

Випромінювання аналізувалося за допомогою монохроматора МДР-2 (з дифракційною ґраткою на 1200 штр./мм у спектральній області 200-600 нм), фотопомножувача "ФЕУ-106", електронного потенціометра "КСП-4", електронного лінійного помножувача ЕЛУ14ФС, імпульсного осцилографа "БЛОП - 04".

Похибка вимірювання інтенсивності не перевищувала 10%. Ототожнення спектрів випромінювання плазми проводилось з використанням довідників [5, 6].

З вимірів часового ходу інтенсивності спектральної лінії іона з зарядом  $Z$  можна визначити час рекомбінації ( $t_r$ ) іонів заряду  $Z+1$ . При цьому, час рекомбінації рівний тангенсу кута нахилу прямої, яка одержується при побудові залежності логарифму інтенсивності від часу:  $t_r = \Delta t / (\Delta \ln(I/I_m))$ , де  $I_m$  – максимальне значення інтенсивності [7].

### Емісійні характеристики

Спектри випромінювання лазерного факелу алюмінію, були зареєстровані на відстані  $d = 1$  мм від мішені (рис. 1).

У таблиці 1 наведені найбільш інтенсивні спектральні лінії випромінювання лазерної плазми алюмінію, де також приводяться: довжина хвилі ( $\lambda$ ), відносні інтенсивності випромінювання усереднені

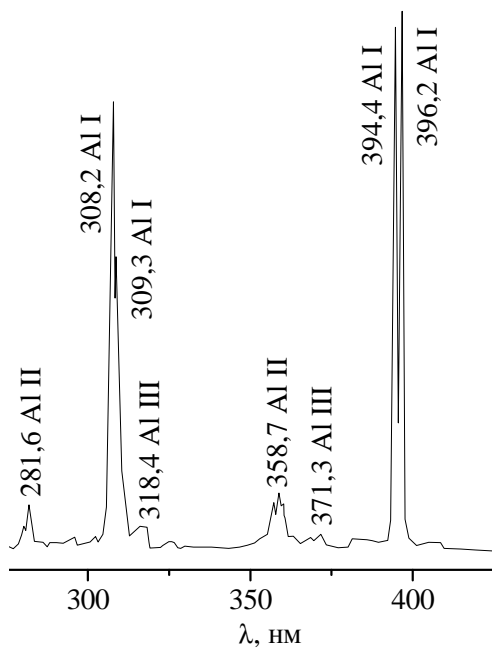


Рис. 1. Емісійний спектр алюмінію.

за часом ( $I_1$ ), електронна конфігурація, терми та енергія верхнього стану ( $E_m$ ), перехід, імовірності переходів ( $A$ ), сумарне внутрішнє квантове число для верхнього ( $J_m$ ) та нижнього ( $J_i$ ) станів.

При відстані  $d = 1$  мм найбільш інтенсивними були атомарні спектральні лінії з довжинами хвиль: 305,7; 308,2; 309,3; 394,4; 396,2 нм, іонні 281,6; 358,7 нм, інтенсивність кожної з них складає більше 10 % від інтенсивності найбільш інтенсивної лінії атома алюмінію (308,2 нм). Іонізаційний склад плазми показує наявність одно- та двозарядних іонів.

Часові залежності інтенсивності спектральних ліній, які добре спостерігаються на всіх відстанях від мішені, показано на рис. 2.

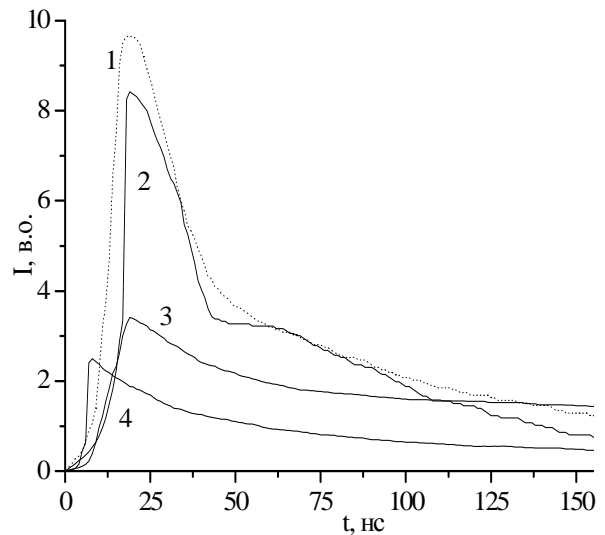


Рис. 2. Осцилограми інтенсивності спектральних ліній атомів алюмінію при  $d = 1$  мм: 1 - 308,2, 2 - 309,3; 3 - 396,2; 4 - 394,4 нм.

Таблиця 1

### Інтенсивності та спектроскопічні дані емісійних ліній алюмінію

№	$\lambda$ , нм	$I_1$ , в.о.	Атом, іон	$A$ , $s^{-1}$	$E_m$ , eV	Електронна конфігурація	Перехід	$J_i - J_m$
1.	281,6	0,14	II	3,83E8	11,8219	3s 4s	$^1P^o - ^1S$	1-0
2.	308,2	1,37	I	6,3E7	4,0214	$3s^2 3d$	$^2P^o - ^2D$	1/2-3/2
3.	309,3	0,76	I	7,4E7	4,0216	$3s^2 3d$	$^2P^o - ^2D$	3/2-5/2
4.	318,4	0,08	III	2,075E7	26,0205	$2p^6 8s$	$^2P^o - ^2S$	3/2-1/2
5.	358,7	0,17	II	2,496E8	15,3025	3s 4f	$^3D - ^3F^o$	3-4
6.	371,3	0,04	III	2,27E8	21,1563	$2p^6 5s$	$^2P^o - ^2S$	3/2-1/2
7.	394,4	1,28	I	4,93E7	3,1427	$3s^2 4s$	$^2P^o - ^2S$	1/2-1/2
8.	396,2	1,32	I	9,8E7	3,1427	$3s^2 4s$	$^2P^o - ^2S$	3/2-1/2

Тривалість свічення плазми переважає 200 нс. Для спектральних ліній із меншими довжинами хвиль максимуми спостерігаються швидше, а тривалість випромінювання найдовша і є більшою за 500 нс. Поява максимумів припадає на часовий інтервал 8-20 нс. Максимум на довжині хвилі 394,4 нм в ~ 4 рази менш інтенсивний, ніж на 308,2 нм. Швидкість руху атомів у плазмі алюмінію, встановлена за положенням максимумів інтенсивності на осцилограмах на відстані 1 мм від мішені і знаходиться в межах  $(0,13-0,05) \times 10^6$  м/с.

На рис 3 представлено типову часову залежність величини  $\ln(I/I_{\max})$ . На відстані 1 мм від мішені в діапазоні часу спостереження ~ 20-50 нс, час рекомбінації однозарядних іонів становить 28,6 нс, а далі при часі  $t \geq 50$  нс складає ~ 94,4 нс.

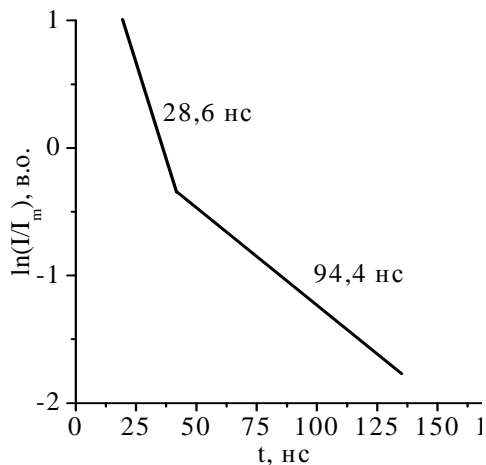


Рис. 3. Прямі для визначення часу рекомбінації іонів алюмінію ( $d = 1$  мм).

Рекомбінаційні процеси значно ускладнюють зміну інтенсивності з часом вказуючи на значне сповільнення спаду інтенсивності при переходах із енергетичних станів вищих енергій в околі часу 40-150 нс [8].

## Висновки

Дослідження спектрів випромінювання лазерного факелу алюмінію і тривалості його свічення показало: а) найбільш інтенсивними спектральними лініями випромінювання ерозійної плазми алюмінію є  $\lambda = 308,2; 309,3; 394,4; 396,2$  нм Al I та 281,6; 358,7 нм Al II; б) повна тривалість її свічення складає ~ 200 нс; в) відношення усереднених за часом інтенсивностей для атомів, одно- та двозарядних іонів складає 1 : 0,12 : 0,06.

Випромінювання лазерної плазми алюмінію вказує на наявність в ній атомів, одно- та двозарядних іонів. Найбільш інтенсивний максимум випромінювання атомів спостерігається при часі 20 нс, поява трьох максимумів припадає на часовий інтервал 8-20 нс, найменш інтенсивного - на 8 нс. Швидкість поширення атомів у плазмі алюмінію  $(0,05-0,13) \times 10^6$  м/с.

Показано, що час рекомбінації однозарядних іонів алюмінію становить 28,6 нс, в діапазоні часу спостереження ~ 20-50 нс та ~ 94,4 нс при  $t \geq 50$  нс.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. P´erez-Tijerina E., Bohigas J., Machorro R. Density and temperature maps of an aluminium plasma produced by laser ablation // Investigacio´ N ReBista Mexicana De Fi´sica. - 2005. - V. 51 (2). – P. 153–156.
2. Arun Kumar Singh, Leela Joshi, Rajiv Prakash, Keiichi Kaneto. Influence of Synthesis Conditions on Electronic and Junction Properties of Poly–Clay Nanocomposites with Aluminum // Japanese Journal of Applied Physics. – 2010. – V. 49. – P. 01AD06—1-6.
3. Dong Ick Son, Chan Ho Yoo, Jae Hun Jung, Tae Whan Kim. Electrical Bistabilities and Memory Mechanisms of Organic Bistable Devices Fabricated Utilizing CdSe/ZnS Nanoparticles Embedded in Polystyrene and Poly Hybrid Composites // Japanese Journal of Applied Physics. – 2010. V.49. – P. 01AD01 1-3.
4. Danylyk Y., Romanov D., McCullen E. Optical properties of contrillable self-assembled lateral nanostructures on InN, InAlN, and AlN thin films. // Mat. Res. Soc. Proc. – 2003. – V. 743. P. 1-6.

5. Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М., Славный В.А., Шрейдер Е.Я. Таблицы спектральных линий. Москва: Наука, 1969. – 665 с.
6. Smith P.L., Heise C., Esmond J.R., Kurucz R.L. Atomic spectral line database from CD-ROM. Cambridge, Smithsonian astrophysical observatory. 1995.
7. Сухов Л.Т. Лазерный спектральный анализ. – М: Наука, 1990. – 143 с.
8. Itina T., Hermann J., Delaporte P., Sentis M. Laser-generated plasma plume expansion: Combined continuous-microscopic modeling // Physical Review. – 2002. E 66. – P. 1-12.

Стаття надійшла до редакції 20.01.2012

L.V. Mesarosh, A.K. Shuaibov, M.P. Chuchman  
Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Pidgirna Str., 46  
e-mail: liviamesarosh@gmail.com

## STUDY OF EMISSION DESCRIPTIONS OF ALUMINIUM LASER PLASMA

The results of investigations of the emission characteristics of aluminium laser plasma are presented. The spectrum of radiation of aluminium laser plasma are fixed for the wavelength  $\lambda = 275-425$  nm, in the distance of 1 mm from a target. It was found that radiation duration of aluminium laser plasma consist  $\sim 200$  ns, the most intensive maximum of radiation is observed at time of 20 ns. It was determined, that time of recombination consist of 28,6 ns during of  $\sim 20-50$  ns, and  $\sim 94,4$  ns at  $t \geq 50$  ns.

**Key words:** aluminium laser plasma, emission characteristics, time of recombination, oscilograms of radiation.

Л.В. Месарош, А.К. Шуайбов, М.П. Чучман  
Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Подгорная, 46  
e-mail: liviamesarosh@gmail.com

## ИЗУЧЕНИЕ ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ АЛЮМИНИЯ

Представлены результаты исследования эмиссионных характеристик лазерной плазмы алюминия. Приведены спектры излучения лазерного факела алюминия для длин волн  $\lambda = 275-425$  нм при расстоянии 1 мм от мишени. Исследована длительность свечения лазерной плазмы алюминия, которая составляет  $\sim 200$  нс, наиболее интенсивный максимум излучения наблюдается при времени 20 нс. Определено, что время рекомбинации в диапазоне времени наблюдения  $\sim 20-50$  нс составляет 28,6 нс, и  $\sim 94,4$  нс при  $t \geq 50$  нс.

**Ключевые слова:** лазерная плазма алюминия, эмиссионные характеристики, время рекомбинации, осциллограммы излучения.