

ЕМІСІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНОЇ ПЛАЗМИ ІНДІЮ

Г.Е. Ласлов

Кафедра квантової електроніки

Наведено результати дослідження впливу потужного лазерного випромінювання неодимового лазера з середньою густиною потужності $(3-5) \times 10^8$ Вт/см² на мішень, виготовлену з індію. Показано, що випромінювання лазерної плазми індію складається з спектральних ліній атомів та однозарядних іонів. Основним процесом у цій плазмі є рекомбінація однозарядних іонів індію із електронами.

ВСТУП

Нітриди хімічних елементів III групи на даний час викликають значний науковий і практичний інтерес, оскільки на їх основі проводяться розробки оптоелектронних приладів, які працюють у видимій і ультрафіолетовій областях спектру [1]. Одним з методів отримання тонких шарів нітридів Al, Ga, In є імпульсне лазерне напорошення [2, 3]. У зв'язку з цим, метою роботи було дослідження емісійних характеристик лазерної плазми індію у присутності малих домішок азоту.

У роботі приведені результати дослідження емісійних та часових характеристик лазерної плазми індію, яка формується при залишковому тиску повітря в камері 5-7 Па.

ТЕХНІКА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Експерименти проводилися з використанням імпульсно-періодичного неодимового лазера, який працював у режимі модульованої добротності. Тривалість лазерної генерації складала 20 нс, частота повторення імпульсів - 12 Гц. Фокусування лазерного випромінювання здійснювалося за допомогою лінзи, яка має фокусну відстань 50 см. Фокусуючи лазерне випромінювання у пляму діаметром 0,4-0,5 мм, було отримано на поверхні індію густину потужності (3-5) 10^8 Вт/см². Пластина індію встановлена у вакуумну камеру, в якій залишковий тиск повітря складав 3-12 Па. Аналіз випромінювання здійснювали за допомогою монохроматора МДР-2 з дифракційною решіткою (1200 штр./мм) в спектральній області 210-600 нм. Відбір випромінювання здійснювався з ділянки лазерного випромінювання за допомогою лінзи. В основному проводилося дослідження випромінювання ядра факелу, центр якого знаходиться на відстані 1 мм від поверхні металу.

Усереднені за часом спектри реєструвалися з використанням фотоелектронного помножувача ФЭУ-106 і самописця КСП-4.

Система ФЭУ-106+МДР-2 калібрувалася по випромінюванню водневої та вольфрамової лампи. Це дозволило виміряти відносні інтенсивності ліній випромінювання (I/k_{λ} , де k_{λ} – відносна спектральна чутливість системи реєстрації). Дослідження імпульсного випромінювання проводили з часовим розділенням 2-3 нс при певній тривалості імпульсу випромінювання < 1 мкс за допомогою лінійного помножувача ЭЛУ-14 ФС і осцилографа БЛОР-04. Більш тривалі імпульси випромінювання реєструвалися імпульсним фотоелектронним помножувачем “ФОТОН”, який був з’єднаний з осцилографом С1-99. Часове розділення у цьому випадку не було більшим ніж 20 нс. Іденти-

фікація спектрів випромінювання проводився з використанням таблиць [4].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 1 приведено усереднений за часом спектр випромінювання ядра ерозійної плазми індію. Спектр випромінювання індію, що досліджувався, включав континуум по всім довжинам хвиль, на фоні якого спостерігалися найбільш інтенсивні спектральні лінії матеріалу мішені з індію.

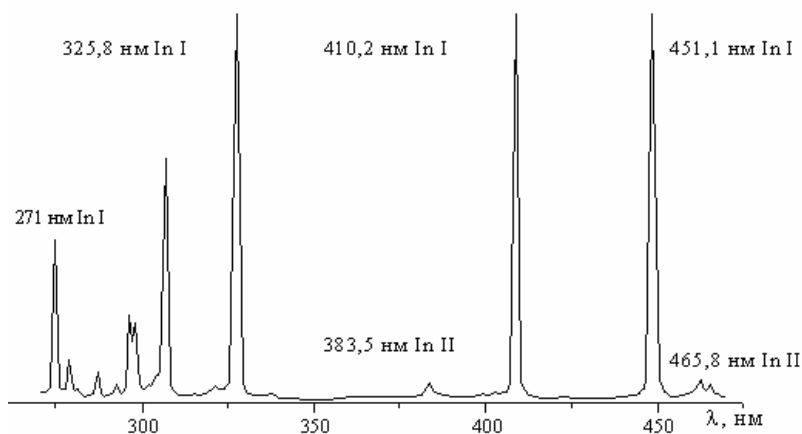


Рис.1 Спектр випромінювання ядра ерозійної лазерної плазми індію.

Лінійчате випромінювання на спектральних переходах In I та In II спостерігалось на фоні неперервного випромінювання, інтенсивність якого була максимальною поблизу мішені. Найбільш інтенсивними спектральними

лініями випромінювання в плазмі лазерного факелу In I були спектральні лінії: 451,1; 410,2; 325,8; 271 нм атома індію, а їх інтенсивність складала 65% від сумарної. Основні характеристики лінійчатого випромінювання лазерної плазми індію наведені в таблиці.

Таблиця 1

**Найбільш інтенсивні спектральні лінії In I в спектрі
випромінювання лазерної плазми**

№	λ , нм	Атом	Перехід	E_B , еВ	I/k_λ , відн. од.	$\Delta I/k_\lambda$, %
1	451,1	In I	$5^2P_{3/2}-6^2S_{1/2}$	3,02	1,00	20
2	410,2	In I	$5^2P_{1/2}-6^2S_{1/2}$	3,02	0,75	15
3	325,8 (6)	In I	$5^2P_{3/2}-5^2D_{5/2, 3/2}$	4,08	0,85	20
4	271,0 (4)	In I	$5^2P_{3/2}-6^2D_{5/2, 3/2}$	4,84	0,35	10

Порівняння розподілу інтенсивності випромінювання плазми, яка формується на відстанях 1-7 мм від поверхні металу з ефективними перерізами збудження спектральних ліній атомів та іонів електронами показує, що вони в цілому не корелюються між собою [5], тому основний механізм утворення збуджених частинок також може бути зумовлений процесами рекомбінації In II та In III з електронами.

Для більш детального вивчення механізму заселення збуджених станів атома індію проводилося дослідження динаміки випромінювання на переходах In I та In II (рис. 2). Початок розгортки для осцилограм відповідає передньому фронту лазерного імпульсу. Мінімальна тривалість випромінювання зафіксована для континууму (20 нс).

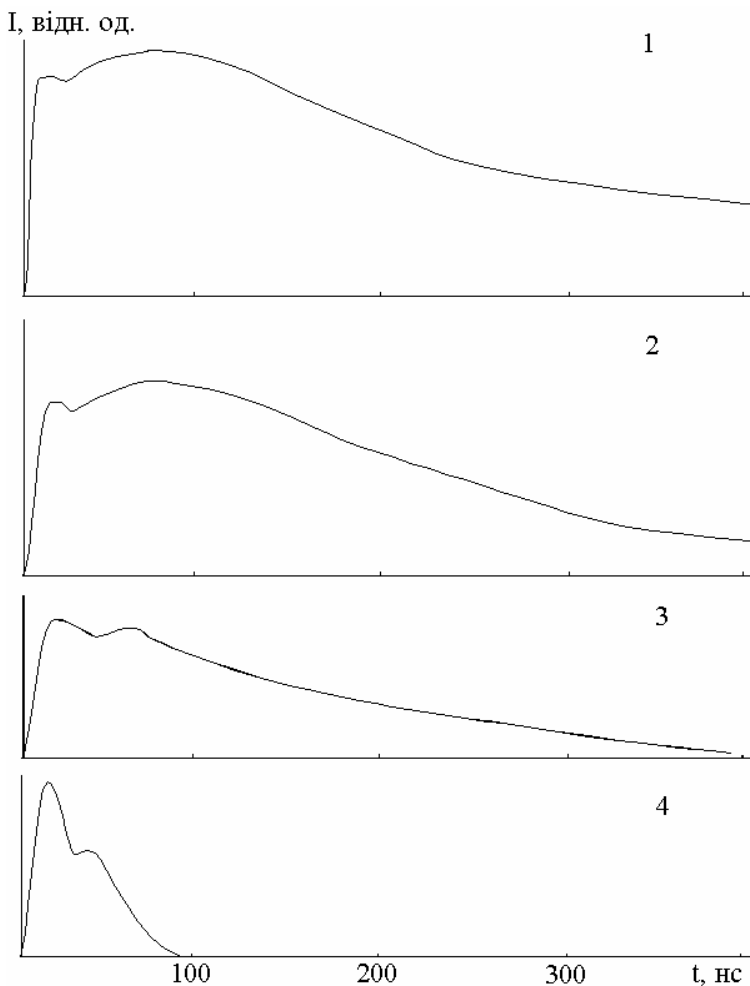


Рис. 2. Осцилограми випромінювання спектральних ліній лазерної плазми індію на відстані 1 мм від мішені: 1 - 451,1 нм; 2 - 325,8 нм; 3 - 303,9 нм In I; 4 - 383,5 нм In II.

Тривалість випромінювання збуджених іонів індію не перевищувала 80-100 нс, а випромінювання атомів індію 500-700 нс, що також свідчить на користь рекомбінаційного механізму збуджених атомів та іонів індію в лазерній

плазмі. Тривалість випромінювання зросла із зменшенням енергії верхнього стану. Це пов'язано з каскадними переходами на рівень $6^2s_{1/2}$ та самим процесом рекомбінаційного заселення. Найбільш коротким було випромінювання іонів через те, що значна їх кількість швидко рекомбінує.

ВИСНОВКИ

Таким чином, показано, що при взаємодії потужного лазерного випромінювання неодимового лазера з мішенню з індію у вакуумі основний внесок у випромінювання вносять спектральні лінії збуджених атомів індію: 451,1 нм, 410,2 нм, 325,8 нм, 325,8 нм; 271 нм. Основним процесом заселення енергетичних рівнів In II є рекомбінація іонів з електронами. Час рекомбінації іонів In II не перевищує 80-100 нс, а випромінювання атомів індію 500-700 нс. Це підтверджує механізм рекомбінаційного заселення збуджених рівнів атомів та іонів індію у лазерній плазмі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Котлярчук К., Попович Д.І., Середницький А.С. Фізика і хімія твердого тіла. Т. 5, №3, С. 481-484, (2004).
2. Ristocu C., Gyorgy E., Mihailescu I.N., Klini A., Zorba V., Fotakis C. Applied Physics, Vol. 79, P. 927–929, (2004).
3. Сухов Л.Т. Лазерный спектральный анализ. - Новосибирск: Наука, 1990. – 143 с.
4. Зайдель А.Н., Прокофьев В.К. и др. Таблицы спектральных линий. – М., 1969. – 782 с.
5. Шимон Л.Л., Непийпов Э.И. УФЖ, 19, №4, 626-629, (1974).