

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИПАРОВУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ МІШЕНЕЙ ЛАЗЕРНИМИ ІМПУЛЬСАМИ МІЛІСЕКУНДНОЇ ТРИВАЛОСТІ

В.О.Токач

Інститут електронної фізики НАН України,
вул. Університетська 21, Ужгород, 88017
e-mail: vkel@mail.uzhgorod.ua

Описано експериментальний пристрій для отримання парів металів шляхом випаровування імпульсами неодимового лазера мілісекундної тривалості. Проведено експерименти з випаровування та діагностики пари свинцю, виявлено генерацію на самообмеженому переході атома свинцю 722,9 нм. Отримано підсилення на вказаному переході з використанням сферичного резонатора.

Вступ

Лазери на парах металів становлять більшість серед лазерів на самообмежених переходах (СОП) [1]. До них, наприклад, належить і найкращий лазер цього типу – на парі міді. Газорозрядні трубки (ГРТ) цих лазерів виготовлено з високотемпературної кераміки. Шматочки металу робочої речовини рівномірно розкладено вздовж ГРТ. Оптимальний тиск рівноважної пари атомів металів при цьому в робочих умовах становить 0,1–1,0 Тор, а відповідна температура ГРТ – понад 1000 К. Можна вважати, що для таких конструкцій ГРТ реально доступною є температура до 1800 К. Це значення обмежене теплофізичними властивостями матеріалів високотемпературних керамік (окис берилію, корунд, нітрид бору).

Відсутність подібних матеріалів для ще більш високих температур не дозволяє повною мірою вважати завершеним пошук нових активних середовищ для лазерів на СОП. Через це нами здійснено спробу апробування нерівноважного методу отримання парів металів лазерним випаровуванням для проведення пошукових досліджень лазерної генерації на парах важковипаровуваних металів.

Експериментальна апаратура. Методичні зауваження

Експериментальний пристрій являє собою вакуумну камеру (рис. 1), у нижній частині якої розміщено металеву мішень, що опромінюється з частотою 2 Гц неодимовим твердотільним лазером з довжиною хвилі 1,06 мкм, тривалістю імпульсу $\tau = 4$ мс, енергією E до 10 Дж. Випромінювання лазера фокусується на мішень сферичною лінзою з фокусною відстанню $f = 185$ мм. Камера попередньо заповнюється буферним газом неоном тиском 1–100 Тор. Над мішенню розміщено електроди поперечного розряду товщиною 1 см, завдовжки 2 см з відстанню між ними 2 см.

На першому етапі досліджень ставилося за мету отримати якусь із добре відомих генерацій на СОП. Розглядалися лазерні переходи у спектрах атомів міді, свинцю, вісмуту. Серед можливих пошукових мішеней на даному етапі ми розглядаємо титан та індій. Теплофізичні характеристики саме цих мішеней наведено в таблиці 1. Зокрема, наводиться оцінка кількості випаруваних атомів N за 1 імпульс енергією 1 Дж з мішені за умови, що всю енергію опромінення без втрат

спрямовано на випаровування, а також оцінка радіуса півсфери $\sqrt{k\tau}$, у якій протягом імпульсу тривалістю τ відбувається вирівнювання температури (k – коефіцієнт теплопровідності).

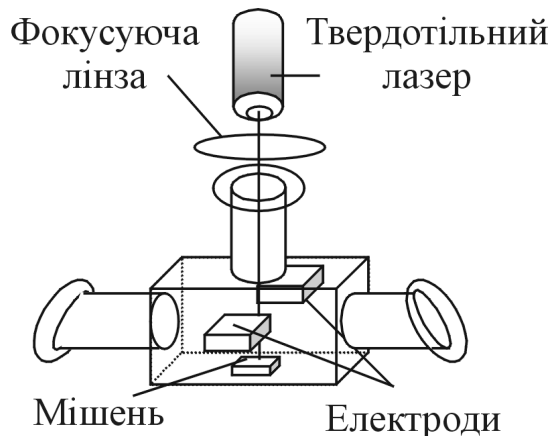


Рис. 1. Схема експерименту зі збудження розряду в нестационарній парі металів, отриманій лазерним випаровуванням.

Поміж електродами поперечного розряду запалювався високовольтний ім-

пульсно-періодичний розряд, комутований тиратроном ТГІЗ-500/20. Величина нагромаджувальної ємності становила 680 пФ, загострюючої – 470 пФ. Розряд збуджувався цугами імпульсів числом 1 – 99 у цугі, частотою повторення 1–10 кГц. Перший з імпульсів цугу синхронізовано в часі з початком опромінення мішені, а останній розрядний імпульс збуджується вже далеко у часі після завершення імпульсу опромінення мішені.

Створену установку оснащено засобами реєстрації імпульсів випромінювання розряду видимої і близьких ультрафіолетової та інфрачервоної області спектру – монохроматор МДР-23, фотопомножувачі ФЭУ-106, 14ЭЛУ-ФС та 14ЭЛУ-ФК, осцилограф С1-99.

Резонатор утворено двома сферичними дзеркалами з радіусами кривизни $R_1 = 26$ см (вихідне дзеркало) та $R_2 = 40$ см. Поверхні дзеркал вкрито оптично товстим шаром алюмінію. Виведення випромінювання з резонатора здійснюється крізь прозору приосьову ділянку вихідного дзеркала діаметром 3 мм.

Таблиця 1.

Теплофізичні характеристики ряду атомів для опису лазерного випаровування

Елемент	Pb	Cu	Bi	Ti	In
Питома теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	26,44	24,52	25,52	25,02	26,7
Температура плавлення, °C	327,3	1083,0	271,3	1668	156,6
Питома теплота плавлення, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	4,772	13,01	10,9	15,5	3,27
Температура кипіння, °C	1715	2595	1559	3280	2075
Питома теплота кипіння, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	179,5	304	151,5	430	226
Коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$	34,89	398,5	8	15,5	88
Кількість випаруваних атомів, 10^{18}	2,6	1,6	3	1,14	2,19
Коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{см}^2}{\text{с}}$	0,241	1,16	0,067	0,066	0,52
$\sqrt{k\tau}$, 10^{-2} см (k – коефіцієнт теплопровідності; τ – тривалість випаровуючого імпульсу)	1,55	3,4	0,81	0,81	2,28

Результати і обговорення

Лазер на парі свинцю був історично першим із лазерів на СОП [2]. Лінія генерації 722,9 нм (рис. 2) має один із найвищих відомих нам коефіцієнтів підсилення – 72 дБ/м. Тому, не маючи певної обґрунтованої уяви на користь того, що пара рівномірно заповнюватиме увесь міжелектродний проміжок, ми вважали за необхідне розпочати дослідження саме зі свинцем.

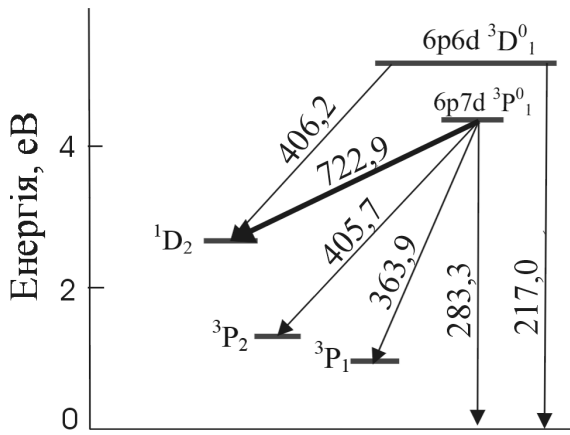


Рис. 2. Схема нижніх енергетичних рівнів (енергії збудження, еВ; спектроскопічна ідентифікація) та спектральних переходів (довжини хвиль, нм) атома свинцю.

До числа важливих діагностичних досліджень для цієї роботи належить оцінка кількості атомів свинцю, що випаровуються з мішені протягом окремого імпульсу. Таку оцінку було здійснено шляхом зважування мішені перед та після серії опромінюючих імпульсів кількістю до 1000 (наведено на рис. 3). Слід зазначити, що отримана оцінка хоч і не сягає розрахованих значень (у розрахунку прийнято енергію імпульсу 1 Дж, а в експерименті ми дотримувалися значень енергії ~ 7 Дж), проте розбіжність не є значною. Тобто для свинцевої мішені насправді більшу частину енергії опромінення спрямовано на випаровування. При цьому найефективніше мішень розпилюється, коли відстань від фокусуєчої лінзи до поверхні мішені l становить 175 мм і є дещо меншою фокусної відстані лінзи.

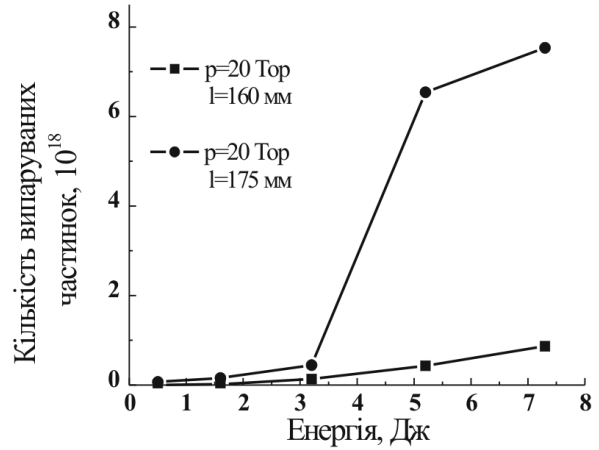


Рис. 3. Залежності кількості випарених атомів свинцю протягом імпульсу від енергії випромінювання твердотілого лазера (p – тиск неону, l – відстань від фокусуєчої лінзи до мішені).

Як зазначалося вище, тривалість опромінюючого імпульсу $\tau = 4$ мс є цілком достатньою для збудження в нестационарній парі свинцю цілої серії імпульсів високовольтного імпульсно-періодичного розряду.

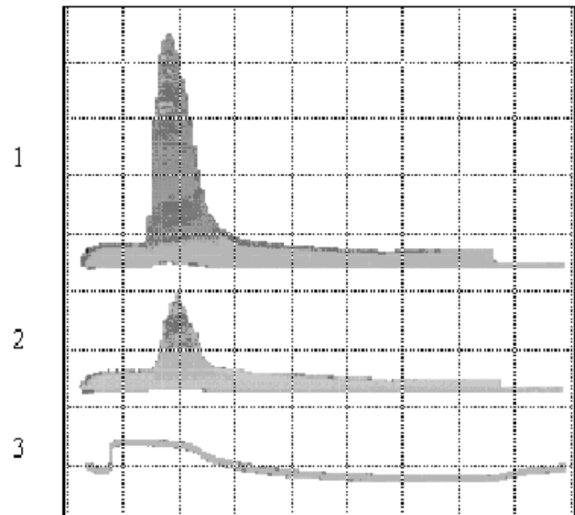


Рис. 4. Осцилограми (одна поділка шкали часової розгортки – 2 мс) імпульсів випромінювання розряду з використанням сферичного резонатора (1), імпульсів випромінювання розряду з перекритим заднім дзеркалом (2); імпульсу випромінювання твердотілого лазера (3) (тиск неону $p=20$ Тор, енергія лазерних імпульсів $E=7$ Дж).

На рис. 4 наведено осцилограми імпульсу генерації неодимового лазера та

цугів імпульсів свічення лінії 722,9 нм атома свинцю з перекритим та відкритим заднім дзеркалом. Закривання заднього дзеркала, як видно, призводить до зменшення амплітуди оптичного сигналу більш ніж у 2 рази, що свідчить про наявність підсилення на цій лінії. Жодна з близьких ліній (для яких коефіцієнти відбивання поверхні дзеркал є практично сталими) як у спектрі атома свинцю, так і у спектрі буферного газу неону не демонструє подібної різниці у величині сигналів.

Висновки

Таким чином, уперше для пошукових досліджень із лазерів на самообмежених переходах використано лазерне розпилення металевих мішеней. Отримано підсилення на самообмеженому переході 722,9 нм атома свинцю при збудженні нестационарної пари свинцю імпульсами поперечного розряду. Подальшу роботу буде спрямовано як на оптимізацію пристрою, так і на пошук генерацій на самообмежених переходах у спектрах важко-випаровуваних металів.

Література

1. В.М.Батенин, В.В.Бучанов, М.А.Казарян, И.И.Климовский, Э.И.Молодых, Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов (Научная книга, Москва, 1998).
2. G.R.Fowles, W.T.Silfvast, Appl. Phys. Lett 6, 236 (1965).

REGULARITIES OF EVAPORATION OF METAL TARGETS BY MILLISECOND LASER PULSES

V.O.Tokach

Institute of Electron Physics, Ukrainian National Academy of Sciences,
Universytetska St. 21, Uzhhorod, 88017
e-mail: e-mail: vkel@mail.uzhgorod.ua

An experimental apparatus to obtain metal vapour due to evaporation by ms-length laser pulses of neodymium laser is described. Experiments on laser evaporation of lead target and lead vapour diagnostics were performed. Lasing on lead atom self-terminating transitions at 722.9 nm was obtained. Amplification on this transition was obtained using a spherical resonator.