

ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛАЗЕРНОЇ ПЛАЗМИ ПРИ АТОМІЗАЦІЇ РЕЧОВИНИ ЦУГОМ ЛАЗЕРНИХ ІМПУЛЬСІВ

С. О. Щукін^{1, а}, Є. І. Забелло², О. В. Носов²

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

² Міжнародний центр «Інститут прикладної оптики» НАН України

Анотація

Представлені результати дослідження процесу атомізації при взаємодії лазерного випромінювання з твердими тілами. Встановлені параметри лазерного джерела для створення лазерної плазми при ІЛН, які дозволяють уникнути дрібнодисперсної фази в продуктах лазерної ерозії.

Ключові слова: атомізація, лазерне джерело випромінювання, лазерна плазма, напилення тонких плівок

Вступ

Одним з ефективних методів напилення тонких плівок є метод імпульсного лазерного напилення (ІЛН), який характеризується простотою, високою продуктивністю і технологічністю, чистотою і якістю отриманих плівок. Ключовим етапом лазерного напилення є процес атомізації, в основі якого лежать процеси термолізації енергії лазерного імпульсу і нагріву речовини до температури близької до температури кипіння, чим забезпечується інтенсивне випаровування речовини. Утворення лазерної плазми супроводжується процесами, які негативно впливають на якість отриманих плівок – це наявність дрібнодисперсної фази в продуктах лазерної ерозії та жорсткий, глибинний характер пошкодження поверхні речовини, що призводить до неоднорідності отриманих плівок та просторової нестабільності факелу лазерної плазми. Для зменшення їх впливу вимушено застосовуються додаткові методи і апаратура, такі як механічні сепаратори, схема перехрещених пучків тощо [1, 2].

Згідно з нашими та іншими дослідженнями [3, 4], вищесказані недоліки можна усунути при реалізації певних вимог до параметрів лазерного джерела, до яких відносяться тривалість імпульсу, енергія в імпульсі і частота проходження імпульсів, та стану навколишньої атмосфери. Від цих параметрів змінюється концентрація парів речовини, а також співвідношення атомарної і дрібнодисперсної фази викинутої речовини.

Метою даної роботи є дослідження впливу параметрів джерела лазерного випромінювання на процес атомізації твердих тіл для поліпшення технологічної якості лазерної плазми.

1. Методика досліджень

Для переведення проби в атомарну фазу використовувався твердотільний лазер з активним тілом на

основі кристалу алюмоітрієвого гранату розміром 6х63 мм, активованого іонами неодиму з накачкою імпульсної ксенонової лампи ІНП5/60. Використовувався резонатор Фабрі-Перо з двома плоскими дзеркалами. Коефіцієнт відбивання заднього “глухого” дзеркала становив $> 99\%$, вихідного $\sim 20\%$. Живлення лампи накачки здійснювалось блоками БПЛ-66/33, (БПЛ-75/33, НАКАЧКА 3000М) з максимальною енергією в розрядному контурі до 75 Дж. Час розряду конденсаторів через лампу ІНП5/60 становив 400 мкс. Лазер працював в суттєво багатоімпульсному режимі. Кутове розходження лазерного випромінювання становило близько 4 – 6 мрад.

Для модуляції добротності використовувалися пасивні модулятори добротності з початковими коефіцієнтами поглинання 73%, 50% на основі твердого розчину органічного барвника в поліуретановій матриці. Відомо, що лазери з пасивною модуляцією добротності генерують один імпульс лише на порозі генерації. При збільшенні енергії збудження кількість генерованих імпульсів зростає. При цьому пікова потужність кожного з них залишається майже незмінною, в той час як їх період плавно зменшується зі збільшенням енергії збудження. В залежності від типу модулятора та ступеню перевищення порогу генерації лазер випромінював переміну по кількості послідовності імпульсів (цуг) з тривалістю одного імпульсу близько 10 нс і енергією одного імпульсу 12 мДж, 15 мДж, 20 мДж відповідно для першого, другого модуляторів та їх комбінації. Часовий інтервал між імпульсами змінювався від 100 мкс (у випадку генерації двох імпульсів) до 7 – 10 мкс (випадок генерації 17 – 23 імпульсів).

Фокусування лазерного променя здійснювалось за допомогою лінзи з фокусною відстанню ~ 75 мм. При цих умовах на поверхні зразка можна було досягнути потужності до 10^9 Вт/см².

^аschukinserhiy@gmail.com

2. Результати досліджень

Аналіз фізичних процесів взаємодії лазерного випромінювання з речовиною дозволяє зробити висновки, що причиною вищезгаданих негативних явищ є об'ємне кипіння речовини при поглинанні енергії лазерного імпульсу. Для його усунення необхідно джерело теплоти винести з об'єму речовини. Це можливо при поглинанні основної частини енергії лазерного випромінювання самими продуктами лазерної ерозії. Це означає цілеспрямоване використання ефекту, що носить назву спалаху поглинання (лавиноподібне зростання числа поглинаючих частинок, в результаті чого відбувається підвищення температури, ступеня іонізації і спалах (в прямому сенсі слова) внаслідок збільшення світності)[5].

Розглянуто різні режими роботи лазерного джерела. При дії моноімпульсу спостерігалось розлітання іскор в різні сторони, що свідчить про наявність дрібнодисперсної фази у продуктах ерозії. При роботі джерела в багатоімпульсному режимі (довжина хвилі 1,06 мкм, тривалість імпульсу 10–30 нс та часовим інтервал між імпульсами ~ 10 мкс) спостерігали, що в продуктах лазерної ерозії переважає атомарна фаза. Зведені результати для різних матеріалів і різної кількості імпульсів в цузі представлені на рис. 1.

Механізм, що відповідає за спостережуваними змінами, пов'язаний з виникненням спалаху поглинання для лазерних імпульсів починаючи з другого та зменшенням часу виникнення спалаху поглинання. При взаємодії першого імпульсу з речовиною спалах поглинання, хоча його виникнення відбувається вже після досягнення температури об'ємного кипіння, що призводить до утворення над поверхнею зразка області, збагаченою іонами та атомами досліджуваної речовини. Але час релаксації цієї області до початкових умов складає кілька десятків мкс., тому при коректному виборі періоду лазерних імпульсів кожен наступний лазерний імпульс проходить через цю збагачену іонами ділянку і його енергія в основному поглинається в ній. Це призводить як до збудження вже існуючих атомарної фази досліджуваної речовини, так до атомізації дрібнодисперсної фази та руйнування окремих фрагментів конденсованої речовини. Частка енергії лазерних імпульсів, що проходить наскрізь поглинається поверхнею зразка і є джерелом додаткової порції атомарної фази. Таким чином при відповідному виборі частоти послідовності лазерних імпульсів можливе створення стаціонарних умов збудження атомів, що вже знаходяться в цій зоні за рахунок попереднього імпульсу і стаціонарна підтримка концентрації атомів досліджуваної речовини за рахунок підігріву поверхні досліджуваної речовини частиною енергії, що не поглинається. В умовах моноімпульсу отримати такий режим практично неможливо. Для його реалізації потрібна послідовність лазерних імпульсів. Перехід

до багато імпульсного збудження лазерної плазми відкриває можливість покращити умови напilenня незалежно від початкових умов оточуючого середовища завдяки можливості створення над поверхнею зразка штучної атмосфери із атомів досліджуваного об'єкту за рахунок послідовного випаровування частки речовин.

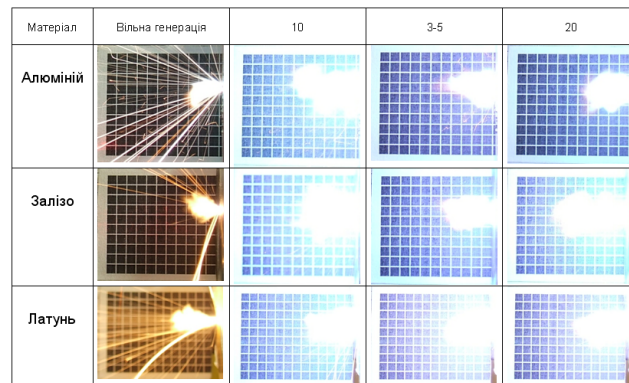


Рис. 1. Характер ерозійного факелу в залежності від числа імпульсів в цузі.

Висновки

Найбільшу ступінь атомізації при ІЛН можна отримати при використанні багатоімпульсного режиму лазерного опромінювання без використання додаткових засобів усунення дрібнодисперсної фази. При цьому лазерне джерело для атомізації твердих тіл повинно мати параметри: лазер з довжиною хвилі 1,06 мкм і тривалістю імпульсу в 10-30 нс та часовим інтервалом між імпульсами ~ 10 мкс. Таке лазерне джерело ефективно можна в подальшому використовувати для процесу лазерного напilenня тонких плівок.

Перелік використаних джерел

1. Arumov G. P., Bukharov Yu. A., Kamenskaya O. V.— Pis'ma Zh. Tekhn. Fiz, 13, No14, 1987.— p. 870-873
2. Bukharov A. Y., Pershin S. M., Krivitskaya N. N., Orlov R. Yu.— Zh. Prikl. Spekr.54, No6, 1991.— p. 1011-1115
3. S. Anokhov, E. Berezhnoy, E. Zabello, O. Nosov. Spatial and spectral structure of a plasma plume induced by the multipulse laser evaporation of the material— Optics. Quantum electronics. Holography. ISSN 0503-1265. Ukr. J. Phys. No8, V. 49, 2004— p. 763-765
4. E. Zabello, V. Syaber, A.Khizhnyak. — Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics vol.2, No1, 1999 — p. 142-146
5. Сухов Л.Т. Лазерный спектральный анализ (Физические принципы).— Новосибирск: Наука, 1990. — 143 с.