

**ПРИРОДНИЧІ ТА ТЕХНІЧНІ НАУКИ  
NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES**

УДК 621.373.826

**ТЕХНОЛОГІЯ ЛАЗЕРНОГО НАПИЛЕННЯ ПЛІВОК**

Жигуц Ю.Ю., Лазар В.Ф., Хом'як Б.Я.

**THE TECHNOLOGY OF LASER SPRAYING OF LAMINAS**

Zhiguts Yuriy, Lazar Vasily, Hom`jak Bogdan

*Для оптимізації технологічного процесу ефективного застосування ексимерних лазерів для потреб плівкових технологій необхідна інформація про основні параметри пари, що конденсується на підкладку. Однак, властивості плівок, отриманих розпиленням мішені наносекундними лазерними імпульсами та властивості парової фази практично не досліджувалися. У той же час, мас-спектрометричні та зондові дослідження парової фази дають змогу визначити низку важливих параметрів конденсації. Результатом проведених таких робіт стала розробка способу формування періодичних структур при опроміненні цугом лазерних імпульсів, який забезпечує отримання якісних гетерогенних і субграткових структур. Експериментальні та теоретичні дослідження вказують на можливість отримання періодичних структур при опроміненні цугом лазерних імпульсів при дотриманні встановлених в роботі умов.*

**Ключові слова:** *цуги, лазерні імпульси, мішень, фаза, напилення, періодичні структури.*

*In order to optimize the technological process of efficient use of excimer lasers for the needs of film technologies, information is needed on the main parameters of the vapour, which condenses on the substrate. However, the properties of films obtained by sputtering the target with nanosecond laser pulses and the properties of the vapour phase have not been studied in practice. At the same time, mass-spectrometric and probe studies of the vapour phase make it possible to determine a number of important condensation parameters. The work resulted in the development of a method for the formation of periodic structures upon irradiation by a train of laser pulses, which ensures the production of qualitative heterogeneous and sublattice structures. Experimental and theoretical studies indicate the possibility of obtaining periodic structures upon irradiation by a train of laser pulses, provided that the conditions established in the work are observed.*

**Key words:** *pulse group, laser pulses, target, phase, sputtering, periodic structures.*

Застосування лазерів з модульованою добротністю, які генерують відтворювані гігантські імпульси тривалістю 10-40 нс, викликало низку досліджень параметрів лазерної плазми, які нелінійно залежать від густини потужності лазерного випромінювання. Крім цього ідея розігрівання речовини до термоядерних температур за допомогою лазерного випромінювання, стимулювала подальші дослідження плазми, яка утворюється при опроміненні конденсованих речовин потоками високоінтенсивного випромінювання [1,2]. Питома частка досліджень, присвячених емісійним процесам при цих густинах потужності набагато менша, хоча результати досліджень дії лазерного випромінювання густиною потужності  $10^8$ - $10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup> на поверхню вже застосовуються в напівпровідниковій технології, при обробці металів і стекло, в мас-спектрометрії, лазерному напиленні плівок [3].

Таким чином можливості лазерної мас-спектрометрії для дослідження структури поверхні твердого тіла ще повністю не розкриті. При цьому висока частота слідування імпульсів ЛПМ (лазера на парах міді) вносить свої особливості в характер іонної емісії, які необхідно детально дослідити.

Розробити спосіб формування періодичних структур при опроміненні цугом лазерних імпульсів, який забезпечує отримання якісних гетерогенних та надграткових структур.

В роботі [4] відмічалось, що при застосуванні для напилення плівок лазерів з модуляцією добротності суттєво знижується температура епітаксії. При цьому параметри пари біля підкладки досягають екстремальних значень, що характеризується високими густинами, напірними тисками, швидкостями конденсації та імпульсами. Наслідком цього є значний енерговклад осаджуваних компонентів у підкладку, порівняний або навіть переважаючий її початкову енергію. Як вказують експерименти, при певних умовах напилення наносекундними лазерними імпульсами може спостерігатися ревіпарування напилених плівок, конденсація через рідку фазу та інше. Характерний час енерговкладу в підкладку при цьому складає  $\tau \approx 10^{-5} - 10^{-6}$  с. Ефект енерговкладу в підкладку компонентами лазерної плазми при цьому є еквівалентним її нагріву лазерним імпульсом мікросекундної тривалості. В цьому випадку можна скористатися методикою розрахунку кінетики випарування матеріалу під дією лазерного випромінювання.

Розглянемо процес випарування мішені наносекундними лазерними імпульсами в діапазоні густин потужності  $Q = 10^6 - 10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup> [2]. Характерною особливістю такого випарування є діаграма направленості розльоту компонент з тілесним кутом  $\Omega = I$  ср і високий коефіцієнт трансформації ( $\eta$ ) енергії лазера ( $E_0$ ) в кінетичну енергію випарених часток  $\eta \approx 0,7$ . При цьому густину потоку енергії часток, конденсованих на відстані  $L$  від мішені можна представити у вигляді

$$Q = \frac{\eta \cdot E_0}{\Omega \cdot L^2 \cdot \tau} = 0,7 \frac{E_0}{\Omega \cdot L^2 \cdot \tau}, \quad (1)$$

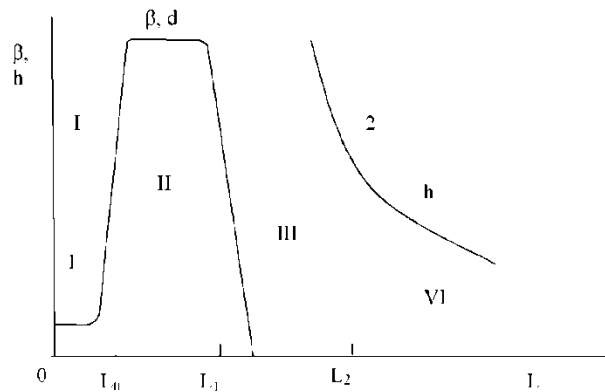
де  $\eta$  – коефіцієнт трансформації енергії імпульсу лазера  $E_0$ ,  $\tau$  – час осадження конденсованих часток.

Особливий інтерес викликають процеси, які відбуваються при  $L < L_1$ . Цікавий випадок відповідає умові, коли швидкість осадження перевищує швидкість теплової хвилі. Неважко показати, що цьому випадку відповідає

$$L \leq L_0 = \left[ \frac{E^2 m^{\frac{3}{2}}}{3\rho^2 \sigma \cdot E_{med} \left( \frac{1}{\sqrt{E_{min}}} - \frac{1}{\sqrt{E_{max}}} \right)} \right]^{\frac{1}{5}} \approx L_1 \left[ \frac{\lambda_2 \cdot m}{E_{med}} \right]^{\frac{1}{5}} < L, \quad (2)$$

де  $E$  – енергія лазерного імпульсу,  $L_1$  – відстань до мішені 1,  $E_{med}$  – середня енергія компонент плазми,  $E_{min}$  та  $E_{max}$  – мінімальна та максимальна енергія компонент лазерної плазми з масами молекул  $m$ ,  $\sigma$  – коефіцієнт температуропровідності,  $\lambda_2$  – питома теплота випарування,  $\rho$  – густина конденсату.

На рис. 1 представлена встановлена залежність коефіцієнта ревіпарування плівок  $\beta = \beta(L)$ . Як слідує з (2), значення  $\beta \approx 1$  при  $L = L_0$  відповідає ревіпаруванню з ефективною теплою випарування  $\lambda_2 = \frac{E_{med}}{m}$ , що відповідає відсутності теплообміну між конденсатом та підкладкою і супроводжується відбиттям пари від підкладки.



**Рис. 1. Залежність коефіцієнта ревипарування плівок  $\beta$  (1) та товщини осадженого за імпульс шару  $h$  (2) в залежності від відстані мішень-підкладка  $L$ , зони I-IV послідовно визначають зону досягнення максимального значення коефіцієнта  $\beta$ , зону стабільного значення  $\beta$  (тобто зону ревипарування), зону стрімкого зменшення  $\beta$  та зону зменшення товщини осадженого шару у залежності від  $L$ , де  $d$  – кількість осаджених молекул за імпульс**

Таким чином, в залежності від  $L$  можна виокремити такі зони (рис. 1), що відповідають відбиванню (I), ефективному ревипаруванню (II), плавленню (III) та пониженню температури епітаксії (IV). Аналітичні розрахунки і експериментальні результати підтверджуються при напыленні шаруватих структур періодичним лазерними імпульсами. Характерні значення  $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , наприклад для типових умов розпилення кремнієвої мішені  $E_0=3$  Дж,  $q=10^9$  Вт/см<sup>2</sup> ( $E_{\min}=10$ ;  $E_{\max}=200$  еВ) для  $L_0=0,24$ ,  $L_1=0,84$ ,  $L_2=2$  см. При всіх режимах напылення для  $d < 6-7$  Å/імп. ( $L > 7-8$  см) параметри середнього порядку в одержаних плівках осцилюють із зміною кута надходження пари на підкладку. Найбільш оптимальним з точки зору реалізації «вибухового» механізму випарування і збереження хімічного складу є режим випарування наносекундними імпульсами з  $q=(1-5) \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, а також режим напылення цугом  $\approx 10$  імпульсів субмікросекундної тривалості.

При густинах потоку лазерного випромінювання  $q=10^8-10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup> та імпульсному і імпульсно-періодичному опроміненні мішені діє «вибуховий» характер випарування з діаграмою направленості  $\sim 1$  ср. 2. Енерговклад компонент лазерної плазми може призводити до зниження температури епітаксії, ревипарування, відбивання компонент плазми. 3. При опроміненні мішені цугом імпульсів перші 10-15 імпульсів викликають «вибухове» випарування до якого додається термічний потік, викликаний наступними імпульсами в цузі.

#### Список використаних джерел

1. Попов, В.К. Мощные эксимерные лазеры и новые источники когерентного излучения в вакуумном ультрафиолете / В.К. Попов // УФН. 1985. – Т. 147. – Вып. 3. – С. 587 – 604.
2. Жигуц Ю.Ю. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами / Ю.Ю. Жигуц, В.Ф. Лазар. – Ужгород: Видавництво «Інватор», 2014. – 388 с.
3. Hutt, K.W. Laser initiated electron avalanches observed in a laser microprobe mass spectrometer / K.W. Hutt, E.R. Wallach // J. Appl. Phys. – 1989. – № 66 (5). – P. 127 - 130.
4. Zhiguts Yu.Yu., Lazar V.F., Khomjak B.Ya. Perspective materials and technologies for industry // Сучасні тенденції розвитку науки і освіти в умовах поглиблення євроінтеграційних процесів: збірник тез доповідей Всеукр. наук.-практ. конф., 17-18 травня 2017. – Мукачево: Вид-во МДУ, 2017. – С. 248 - 249.

### References

1. Popov, V.K. Powerful excimer lasers and new sources of coherent radiation in vacuum ultraviolet / V.K. Popov // UFN. 1985. – Т. 147. – V. 3. – P. 587 – 604.
2. Zhiguts Yu.Yu., Lazar V.F. Technologii otrumannja ta osoblyvosti splaviv synthesizovanyh kombinovanymy processamy. – Uzhhorod: Invasor, 2014. – 388 s.
3. Hutt, K.W. Laser initiated electron avalanches observed in a laser microprobe mass spectrometer / K.W. Hutt, E.R. Wallach // J. Appl. Phys. – 1989. – № 66 (5). – P. 127 - 130.
4. Zhiguts Yu.Yu., Lazar V.F., Khomjak B.Ya. Perspective materials and technologies for industry // Suthasni tendentsii rozvytku nauky i osvity v umovah poglyblennja evrointegratsijnyh protsesiv: zbirnyk tez dopovidej Vseukr. nauk.-prakt. conf., Maj 17-18, 2017. – Mukachevo: MSU, 2017. – P. 248 - 249.

УДК 338.48-6:615.8(477.87)(045)

### KÁRPÁTALJA ÜDÜLŐ-ÉS REKREÁCIÓS ZÓNÁINAK LEHETŐSÉGEI

Luzánszká T., Molnár-Babilya D., Pjatka N.

### ПОТЕНЦІАЛ КУРОРТНО-РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН ЗАКАРПАТТЯ

Лужанська Т., Молнар-Бабіля Д., П'ятка Н.

### THE POTENTIAL OF RESORT AND RECREATIONAL AREAS OF TRANSCARPATHTIA

Luzhanska Tetyana, Molnar-Babilja Dzhosija, Piatka Natalia

*A kutatási téma relevanciája a régió szanatórium-üdülőszféra fejlesztésének stratégiai céljainak köszönhető, amelyek a fejlesztés koncepciója és bizonyos stratégiai irányok alapján születnek, jelentik a jövőkép első átalakítását és konkretizálását, ill. ékezetek. Meghatározzák a jövőkép megvalósításának fő irányait, és meghatározzák azokat a végeredményeket, amelyeket a régió fürdőterületének stratégiai elemzési időszakának végéig el kell érni. Kárpátalja régióját egyedülálló természeti rekreációs erőforrások jellemzik, ez a régió a legmagasabb szintű ellátást nyújtja a környezeti erőforrások fő összetevőinek. Kárpátalja nagy természeti és rekreációs turisztikai és üdülőhelyi potenciállal rendelkezik. Az orvosi és egészségügyi szféra működésének problémáinak megoldása érdekében meg kell: fokozni a beruházási javaslatok kidolgozásával kapcsolatos munkát a turisztikai-rekreációs vonzó zónákban található területeken annak érdekében, hogy vonzzák a potenciális befektetőket a meglévő létesítmények modernizálására és a lista bővítésére és a szolgáltatások minősége; a régiók társadalmi és gazdasági fejlesztési programjainak frissítése keretében a helyi önkormányzatok turizmus és üdülőhelyek fejlesztése irányába tett intézkedéseinek stratégiai prioritásainak előirányozása, pénzügyi támogatás biztosítása számukra a helyi költségvetések szintjén; hirdetési kampányok szervezése az összes ukrán és regionális televízió az üdülturizmus népszerűsítése érdekében; az orvosi és egészségturizmus fejlődésének folyamatos és operatív figyelemmel kíséresi rendszerének létrehozása; az üdülőhelyi szolgáltatásokban, az idegenforgalomban, a szállodai és éttermi iparban foglalkoztatott személyzet folyamatos képzési rendszerének bevezetése, mind szakiskolák, mind pedig speciális programok, tanfolyamok felhasználásával a foglalkoztatási szolgálat központjai számára.*

**Kulcsszavak:** gyógy- és egészségturizmus, szanatórium-üdülőhely, természeti-rekreációs erőforrások, környezet, üdülőhely-rekreációs lehetőségek, orvosi-egészségjavító zónák, üdülőhelyi szolgáltatások.

*The relevance of the research topic is due to the strategic goals of the sanatorium-resort sphere of the region, which are born on the basis of the concept (vision) of development and certain strategic directions, represent the first transformation and concretization of vision and accents.*