

3. Ивлев Г. С. Основные формы онлайн-коммуникаций и методы обеспечения адресности / Г. С. Ивлев // Экономическая наука и практика: материалы I Международной научной конференции. – Чита, 2012. – С. 114-118.
4. Файзулин Р. Р. Видеоконференция – часть современного бизнеса / Р. Р. Файзулин // Устойчивое развитие науки и образования. – 2017. – №11. – С. 73-76.
5. VC.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/services/117107-cifry-kolichestvo-ezhednevnyhpolzovateley-zoom-vyroslo-v-20-raz-za-tri-mesyaca> (дата звернення 17.10.2021).
6. Прайм [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://1prime.ru/Financialmarket/20200330/831170813.html> (дата звертання 18.10.2021).
7. Туркменова Д. И. Бизнес в интернет-пространстве: преимущества и недостатки онлайн-бизнеса / Д. И. Туркменова // Матрица научного познания. – 2019. – №11. – С. 70-73.

### References

1. Mazurenko, V. P, Francishko O. 2008. Suchasni tendentsii rozvytku komunikatsiinykh protsesiv v umovakh hlobalizatsii [Current trends in the development of communication processes in the context of globalization]. *Collection of scientific works of Taras Shevchenko National University of Kyiv and the Institute of International Relations*, pp. 115-120.
2. Taranova, Yu. V. 2015. Digital-kommunikatsii v biznese: osobennosti i trendy [Digital-communications in business: features and trends]. *Information age*, 3, pp. 243-245.
3. Ivlev, G. S. 2012. Osnovnyie formy onlayn-kommunikatsiy i metodyi obespecheniya adresnosti [Basic forms of online communications and methods of ensuring targeting]. *Economic science and practice: materials of the I International scientific conference*, pp. 114-118.
4. Faizulin, R. R. 2017. Videokonferentsiya – chast sovremennogo biznesa [Videoconference is a part of modern business]. *Sustainable development of science and education*, 11, pp. 73-76.
5. VC.RU [online] Available at: <https://vc.ru/services/117107-cifry-kolichestvo-ezhednevnyhpolzovateley-zoom-vyroslo-v-20-raz-za-tri-mesyaca>.
6. Praym [Prime]. [online] Available at: <https://1prime.ru/Financialmarket/20200330/831170813.html>.
7. Turkmenova, D. I. 2019. Biznes v internet-prostranstve: preimuschestva i nedostatki onlayn-biznesa [Business in the Internet space: advantages and disadvantages of online business]. *Matrix of scientific knowledge*, 11, pp. 70-73.

УДК 621.373.826(045)

### TECHNOLOGICAL PARAMETERS LASER SPRAYING OF THIN FILMS

Zhiguts Yuriy , Lazar VasyI, Hom`jak Bogdan

### ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ЛАЗЕРНОГО НАПИЛЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК

Жигуц Ю. Ю., Лазар В. Ф., Хомяк Б. Я.

*Information of the main parameters of vapour condensation on the lining, as a resulted of solve the problem of obtaining periodic thin-envelope multilayer structures formed from complex compounds, is required. The results of solving this problem can be used in laser deposition of envelope to obtain mirrors of the soft X-ray range and sublattices. The authors' theoretical and experimental studies are devoted to the study of new possibilities for laser deposition of envelope of substances by giant laser pulses that combine a complex chemical composition and unique physical properties, namely, the ferroelectric SbSJ, which is characterized by anomalously high values of the piezoelectric coefficient and ferroelectric parameters, and the piezoelectric Bi<sub>12</sub>GeO<sub>20</sub>. In experiments with deposition using mass spectrometry, the main parameters of the laser plasma for these materials were determined. The authors analysed the electrograms and structure of SbSJ*

*envelopes, determined the main parameters and optimal conditions for applying the envelope to the substrate.*

**Key words:** *laser pulses, target, phase, film, sputtering, evaporation, trains, structure.*

*Для розв'язання проблеми отримання періодичних тонкоплівкових багатошарових структур сформованих з складних сполук необхідна інформація про основні параметри конденсації пари на підкладку. Результати розв'язку цієї проблеми можуть бути використані при лазерному осадженні плівок для отримання дзеркал м'якого рентгенівського діапазону та надграток. Теоретичні і експериментальні дослідження авторів присвячені дослідженню нових можливостей лазерного напилення плівок речовин гігантськими лазерними імпульсами, що поєднують складний хімічний склад та унікальні фізичні властивості, а саме сегнетоелектрика  $SbSJ$ , який характеризується аномально високими значеннями  $n'$ єзокоєфіцієнта та сегнетоелектричних параметрів, та  $n'$ єзоелектрика  $Bi_{12}GeO_{20}$ . Для цих матеріалів в експериментах при напиленні за допомогою мас-спектрометрії визначались основні параметри лазерної плазми. Авторами проведений аналіз електронограм та структури плівок  $SbSJ$ , визначені основні параметри та оптимальні умови нанесенні плівок на підкладку.*

**Ключові слова:** *лазерні імпульси, мішень, фаза, плівка, напилення, випаровування, цуги, структура.*

Unique properties of laser radiation: coherence, high pulsed power, small angular discrepancy make it possible to focus relatively easily on optical systems, while obtaining extremely high power densities. The first studies of the action of such a laser on the surface gave an unexpected result – the kinetic energy of the emitted components at laser powers up to  $10^6$  W was hundreds of electron volts. Most parameters of laser plasma depend nonlinearly on the power density of laser radiation. On the other hand, the idea of heating a substance to thermonuclear temperatures by laser radiation [1] has stimulated a number of plasma studies associated with high-intensity irradiation of condensed matter [1-6].

Develop a method for obtaining thin films of complex compounds with simultaneous determination of the most important condensation parameters when irradiated with a train of laser pulses.

In modern microelectronics an important place is occupied by the problem of obtaining periodic thin-film multilayer structures formed from complex compounds. That is why the study of the method of obtaining films and the establishment of condensation parameters are of particular importance. The results of this problem can be used in the laser deposition of films to obtain soft X-ray mirrors and superlattices.

The mass thickness of the films was estimated by the resonant frequency shift of the piezoquartz vibrator with a sensitivity of 0.2 nm. Since linear plots are present in the graphs of dimensional dependences of film resistivity in the range of considered film thicknesses, according to the Fuchs-Sondheimer plane-parallel layer model, we concluded that the microstructure of films does not change when its thickness changes for a multilayer sandwich layer. The authors conducted a statistical analysis of the quality factor of the obtained results.

The authors conducted a statistical analysis of the quality factor of the obtained results.

The number of experimental measurements required to obtain a small volume sample was preliminarily determined to estimate the average size of the film thickness  $H$  with an accuracy of  $\varepsilon=0.05$  and a reliability of  $\alpha=0.95$ . To calculate the standard deviation  $S$  was taken a sample with a volume of  $n_1=5$ . As a result of processing the experimental data of this sample  $S=0.06$  nm.

Define the formula function  $S_n(t_c)$  [7]:

$$S_n(t_c) = \frac{\alpha + 1}{2}, \quad (1)$$

$$S_n(t_c) = \frac{0,95+1}{2} = 0,975.$$

According to [7], depending on the value  $S_n(t_c)=0.975$  and  $n_1=5$ , we find the value of  $t_c=2.8$ . Substitute the values found in function (2):

$$n = \frac{t_c^2 S^2 + \varepsilon^2}{\varepsilon^2}, \quad (2)$$

get

$$n = \frac{2,8^2 \cdot 0,06^2 + 0,05^2}{0,05^2} \cong 12,3.$$

Therefore, the volume of the small sample for the quality factor of the results (reliability) 0.95 was  $n=13$ .

This calculation established the required number of data measurements.

Substances that combine complex chemical composition and unique physicochemical properties were selected to study the new possibilities of laser sputtering of films by giant laser pulses.

The process of laser sputtering of SbSJ ferroelectric and  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  piezoelectric was subject to research.

I. Ferroelectric - SbSJ semiconductor, which is characterized by abnormally high values of the piezoelectric coefficient and ferroelectric parameters.

II. Piezoelectric  $\text{Vi}_{12}\text{GeO}_{20}$ . For him, the main parameters of laser plasma were determined in experiments by sputtering using mass spectrometry [6, 8].

The scattering pattern in the flux density range  $q=10^8 \dots 10^{10} \text{ W/cm}^2$  is symmetric with respect to the normal to the target surface in the center of the focal spot. The spraying occurs mainly in the body angle  $\sim 1$  steradian.

Direct measurements of the amount of evaporated substance indicate the correctness of the above method of estimation in the range of the specified power densities. This means that in our case the evaporation mechanism is not due to thermal conductivity.

The results of calculations and measurements are presented in table. 1.

**Table 1.**

**The results of determining the density of the particles of the gas phase**

Parameters	L, <a href="#">cm</a>	0,3	1	2	5	10
$q=10^9 \text{ W/cm}^2, m=2 \cdot 10^{-5} \text{ g}$	n, <a href="#">cm</a> <sup>-3</sup>	$1 \cdot 10^{19}$	$3 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{16}$	$3 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{14}$
$q=5 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2, m=1,5 \cdot 10^{-6} \text{ g}$	n, <a href="#">cm</a> <sup>-3</sup>	$7 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^{17}$	$3 \cdot 10^{16}$	$2 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{14}$
$q=10^8 \text{ W/cm}^2, m=5 \cdot 10^{-6} \text{ g}$	n, <a href="#">cm</a> <sup>-3</sup>	$2 \cdot 10^{18}$	$5 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{16}$	$6 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{14}$
$q=10^9 \text{ W/cm}^2, m=8 \cdot 10^{-5} \text{ g}$	n, <a href="#">cm</a> <sup>-3</sup>	$1 \cdot 10^{19}$	$2,6 \cdot 10^{17}$	$3,3 \cdot 10^{16}$	$2 \cdot 10^{15}$	$2,6 \cdot 10^{14}$
$q=5 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2, m=5 \cdot 10^{-6} \text{ g}$	n, <a href="#">cm</a> <sup>-3</sup>	$5,6 \cdot 10^{18}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$1,8 \cdot 10^{14}$
$q=10^8 \text{ W/cm}^2, m=1,2 \cdot 10^{-5} \text{ r}$	n, <a href="#">cm</a> <sup>-3</sup>	$1,3 \cdot 10^{18}$	$4 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{14}$

Thus, under the action of a giant laser pulse, the limited volume of the target substance in a very short time is converted into a high-temperature plasma clot, which expands adiabatically. The applied method of evaporation of a complex compound makes it possible to carry out the deposition of films in extreme conditions of ultrafast entry of ions and excited atoms and molecules onto the substrate.

At the substrate temperature  $t_{\text{pad}}=20 \dots 100^\circ\text{C}$ , the obtained films were amorphous, and at higher substrate temperatures the electrograms contained annular lines that fit well into the SbSJ crystal lattice. Oriented films were obtained for  $t_{\text{pad}}=140 \dots 150^\circ\text{C}$ .

SbSJ films deposited on the KCl ring (001) located relative to the target so that the fall occurred almost perpendicularly had a relatively smooth surface, except for a small number of places that locally enhance the diffraction contrast and decorate the chip surface. These films are characterized by the manifestation of the rough relief of the chip surface by tinting, which is shown

in fig. 1 (a and b) with an average size of  $\sim 4000 \text{ \AA}$ . The formation on the atomically smooth surface of initially rounded, unfilled with condensate areas, which are shaded by the next pulsed inflow of matter is probably electrical in nature.



**Fig. 1. Electronic micrographs of SbSJ films sprayed on the chip (010) KCl when the beam falls at an angle other than  $90^\circ$**

Increasing the flux density  $q$  and the associated increase in the thickness of the layer deposited by the pulse leads to the formation of a continuous layer without going through the stage of island growth. In the case when the thickness of the layer deposited by the pulse is close to the monomolecular, structural-morphological transformations are possible. A further increase in  $q \geq 5 \cdot 10^8 \text{ W/cm}^2$  leads to a sharp increase in emissions and, as a consequence, hardening of nonequilibrium states.

At high vapor densities caused by  $q > q_{\text{opt}}$ , its condensation can occur during gas-dynamic expansion without the participation of the substrate.

In general, the condition for obtaining continuous perfect films by means of giant pulses is largely determined by the flux density of the laser radiation, the thickness of the layer deposited by the pulse, the distance of the target substrate and the temperature of the substrate. These parameters, within certain limits, can be purposefully chosen depending on the task. Studies show that a very promising and technological method of obtaining films of complex substances by evaporating the target with giant laser pulses can be successfully applied only by determining the optimal evaporation modes and plasma characteristics. This is quite simple and effective can be done by the above method using time-of-flight mass spectrometry.

### References

1. Popov, V. K. 1985. Powerful excimer lasers and new sources of coherent radiation in vacuum ultraviolet. *UFN*, 147, 3, pp. 587–604.
2. Zhiguts, Yu.Yu., and Lazar, V. F. 2014. *Technologii otrumannja ta osoblyvosti splaviv synthesizovanyh kombinovanyh processamy*. Uzhhorod: Invasor.
3. Hutt, K. W., and Wallach, E. R. 1989. Laser initiated electron avalanches observed in a laser microprobe mass spectrometer. *J. Appl. Phys*, 66 (5), pp. 127 - 130.
4. Zhiguts, Yu. Yu., Lazar, V. F., and Khomjak, B. Ya. 2017. 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*. Mukachevo: MSU.
5. Zhiguts, Yu.Yu. 2008. *Naukovi doslidzhennja v tehnologii madhinobuduvannja*. Uzhhorod: Vudavnytstvo UzhNU.

**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.
5. Наукові дослідження в технології машинобудування / Ю. Ю. Жигуц. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2008. – 225 с.

**УДК 621.01:004(045)****ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНІМАЦІЯ ХАОТИЧНОГО РУХУ ПОДВІЙНОГО  
МАЯТНИКА В ПАКЕТІ MATHCAD**

Ігнатишин М. І., Туряниць І. І., Пелех Я. М.

**RESEARCH AND ANIMATION OF THE CHAOTIC MOVEMENT OF THE  
DOUBLE PENDULUM IN THE MATHCAD PACKAGE**

Ignatishin Mykola, Turyanytsia Ivan, Pelekh Yaroslav

*Анімація складних механічних систем з хаотичними рухами представляє інтерес з точки зору активізації уяви при їх вивченні та дослідженні. Побудовано в пакеті Matcad, математичну модель та анімацію динамічної системи подвійного маятника. Отримано кінематичні характеристики та анімацію.*

**Ключові слова:** хаотичні рухи, подвійний маятник, анімація, mathcad.

*Animation of complex mechanical systems with chaotic movements is of interest in terms of reviving the imagination during their study and research. The double pendulum is an example of chaotic behavior and is very sensitive to the starting position. Even with the slightest deviation, the behavior of the pendulum changes completely. A mathematical model and animation of a dynamic system of a double pendulum are obtained. Graphs of kinematic characteristics of chaotic motion, position, velocity of masses and animation are obtained. The motion of a double pendulum is represented by a system of four 1st-order differential equations. The numerical solution is obtained and converted using the Mathcad package. The program in the Matcad package makes it possible to simulate the operation of a double pendulum under different initial conditions.*

**Key words:** chaotic movements, double pendulum, animation, mathcad.

Хаотична динаміка має своє застосування в багатьох галузях науки та техніки, включаючи астрономію, фізику плазми, статистичну механіку та гідродинаміку, що доводить перспективність розвитку цієї галузі та досліджень, пов'язаних з хаотичною поведінкою різноманітних систем і представляє нову галузь нелінійної механіки, що стрімко розвивається в наш час [1, 2].

Прикладом хаотичної механічної системи є подвійний маятник. Подвійний маятник – це приклад хаотичної поведінки, він дуже чутливий до початкового стану. Навіть при