

Д.И. Котельников, Д.А. Петрига

## СИСТЕМНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭОМ МИКРООПТИКИ

*Черниговский государственный технологический университет,  
ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина*

Стремительное развитие информатизации общества обострило проблемы технического оснащения процессов сбора, передачи и обработки данных. Оптоэлектроника стала основным направлением научно-технического прогресса. Стремление к миниатюризации технических средств информатики и связи привело к появлению рефрактивной микрооптики и технологий, позволяющих изготавливать изделия с габаритными характеристиками в микро- и нанометрическом диапазонах [1–12], которые в свою очередь позволяют создавать микроэлектромеханические системы (МЭМС) и микрооптоэлектро-механические системы (МОЭМС) [13, 14] для медицины, научных исследований и других отраслей науки и техники. При переходе к изготовлению изделий микрооптики [15–22, 23, 24, 12, 25–27] кардинально изменился технологический инструментарий. Основными средствами обработки материалов стали потоки микрочастиц абразива, плазмы [27], газов [28], жидкостей [29–31], ионов [18, 20], электронов [28, 37–39], фотонов видимого [40], ультрафиолетового [41] и рентгеновского излучений [13], а также процессы испарения, электроэрозии, кавитации [42, 43].

Роль инструментов резания, сверления и других процессов формоизменения материала стали выполнять микрочастицы. Разрешающие возможности в точности обработки таким инструментарием достигли атомарного уровня [10, 44]. Формирование микроизделий стало происходить в условиях, учитывающих существенное значение квантовомеханических взаимодействий инструмента и материала, когда свойства материалов перестают соответствовать закону Гука. Хотя проявление и технологическая значимость этих обстоятельств давно замечены специалистами микротехники [24, 25–27] (см. фото [21]), однако внимания к их изучению и производственному применению пока недостаточно из-за высокой стоимости и сложности исследований [45]. Их заменяют попытками применения более технологичных материалов [12, 46], позволяющих получать изделия микрооптики штамповкой. Однако это не решает проблем изготовления микроштампов необходимой точности и стойкости.

При микроскопической обработке оказываются пластичными и такие “хрупкие” материалы, как германий и кремний, кристаллическая решетка которых имеет строение алмаза (рис. 1).

Формообразование микроэлементов интегральных схем и любых микроизделий превратилось в многоэтапный комплексный технологический процесс чередования операций нанесения функциональных покрытий и последующего травления и/или испарения поверхности обрабатываемого материала с применением масок [22, 29, 41].

Характерным примером является изготовление элементов микрооптики из стекла и кварца [1–8] (рис. 2 и табл. 1) посредством фотолитографии и последующего электронного нагрева поверхности обработки до температур, при которых происходит сглаживание ступенек микрорельефа [5, 7]. Эта технология демонстрирует системное несоответствие между богатыми техническими и технологическими возможностями электронов и примитивным способом их использования.

Сравнение размеров изделий, заготовок, инструментов и зон взаимодействия (рис.2) демонстрирует необходимость системного уточнения общей теории электрофизических и электрохимических методов обработки, представленной в работе [30], где говорится о «бесконтактном формообразовании» (см. стр. 183–197 [30]), которого в природе не существует. Понятие о «бесконтактном формообразовании» возникло в результате системной ошибки, заложенной в основу построения теории обработки материалов при электрохимических и электрофизических процессах, где взаимодействие и свойства инструмента и материала не подчиняются закону Гука.

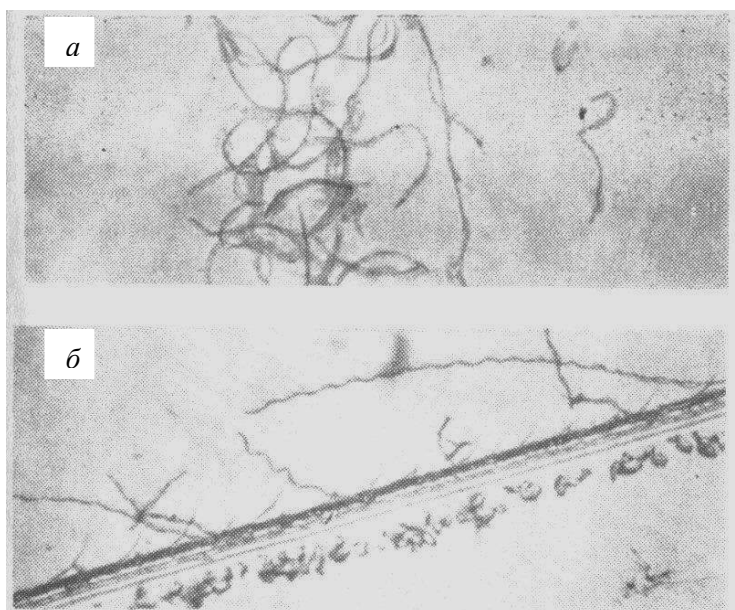


Рис. 1. а – стружка, полученная при обработке германия;  
б – пластиковая царпина со стружками, полученная на кремнии  $\times 600$ .

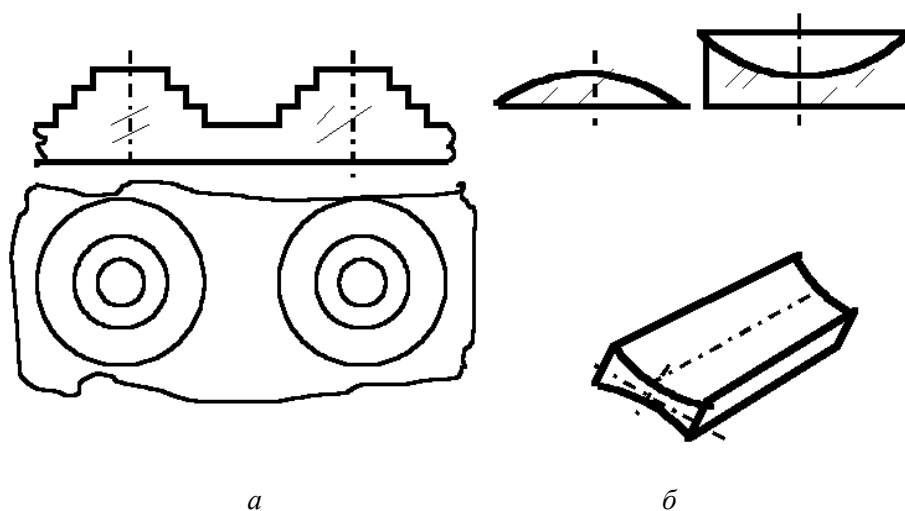
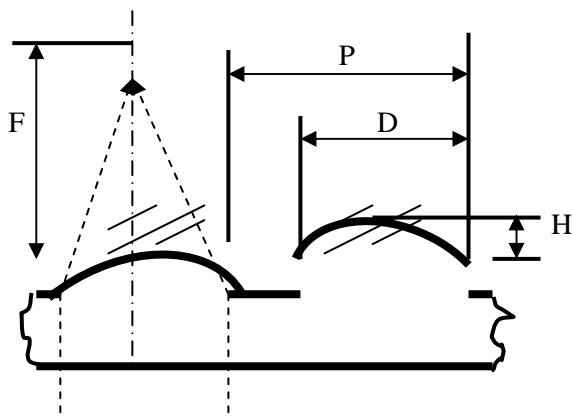


Рис. 2. Схема заготовки (а) микролинзового растра из стекла или кварца, поэтапно сформированная с помощью фотолитографии, и типы (б) элементов микрооптики, получаемые после электронной обработки поверхности заготовок.

Таблица 1. Параметры микролинзовых растров после ЭОМ

$D$ , мкм	$P$ , мкм	$F$ , мкм	NA	$H$ , мкм	Форма	Материал	Упаковка	Диапазон, мм $\times$ мм
400	500	800	0,25	60	осесим.	Кварц	Ортогон.	18·18
400	400	1100	0,20	40	осесим.	Кварц	Ортогон.	5·8,5
300	300	1700	0,10	15	осесим.	Кварц	Гексагон.	3,5·10
400	400	1200	0,15	40	осесим.	Кварц	Ортогон.	5·10
200	330	300	0,30	40	цилиндр.	Кварц	–	8·10
150	220	2000	0,04	3	осесим.	Стекло	Гексагон.	20·20
3450	830	1400	0,12	106	осесим.	Стекло	–	3·10
130	300	250	0,25	15	осесим.	Стекло	Ортогон.	10·10
140	200	250	0,27	27	осесим.	Стекло	Гексагон.	4·8
200	200	500	0,20	12	осесим.	Стекло	Гексагон.	7·15



$$NA = \sin(\text{Ctg}(D/2F))$$

a.s. – осесимметричная

cy1. – цилиндрические линзы

Основываясь на пространственно-динамических и энергетических свойствах микрочастиц (электрона, иона, атома, молекулы, абразивной частицы и т.д.), представляющих собою элементарные инструменты (ЭИ), должна строиться технологическая последовательность и процесс их воздействия на материал. Максимальный технологический эффект от применения таких микроинструментов возможен при исключении системных противоречий, возникающих при переходе в зону качественных изменений в размерах инструмента (ЭИ) и зоны взаимодействия (ЗВ) (рис. 3).

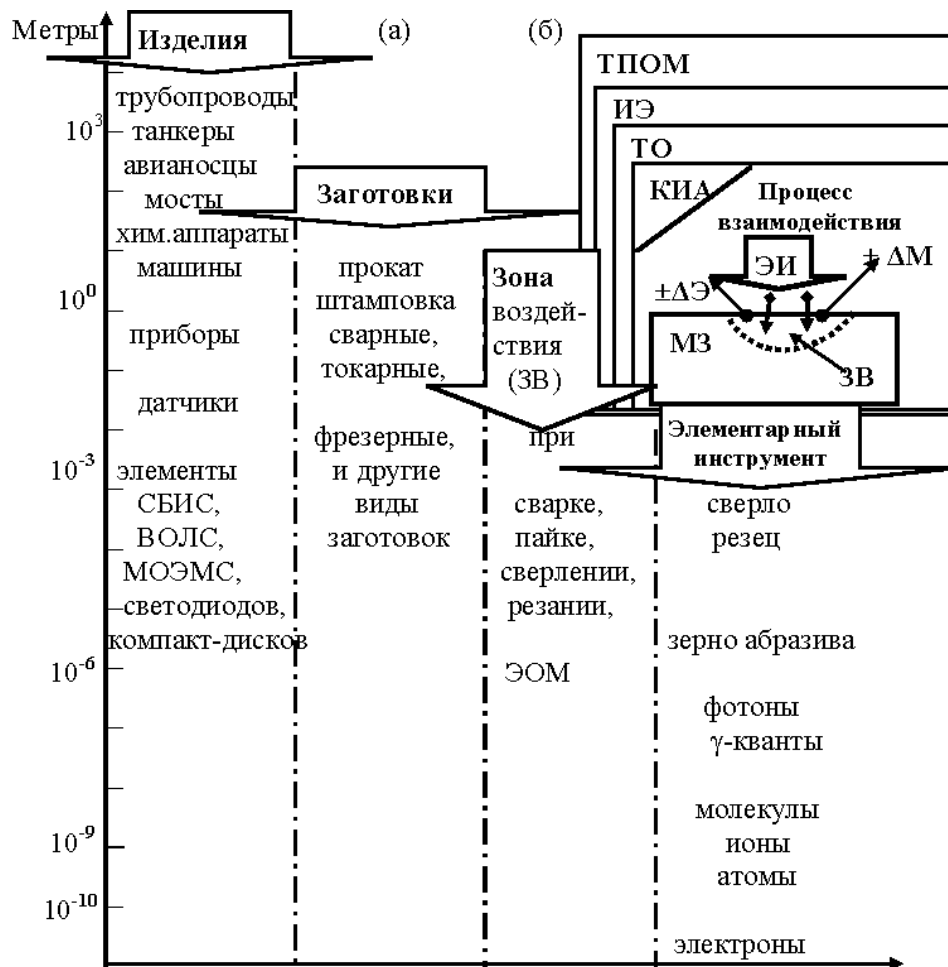
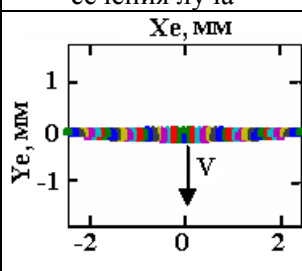
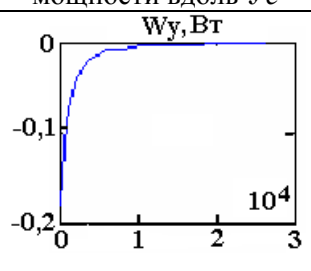
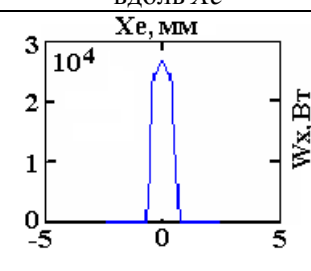
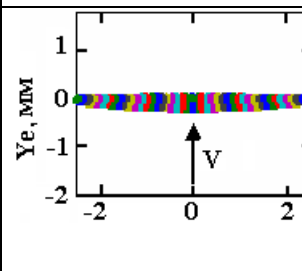
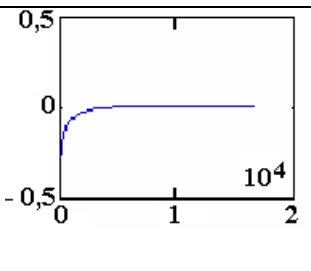
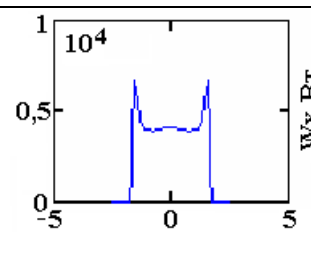
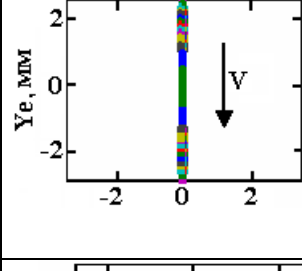
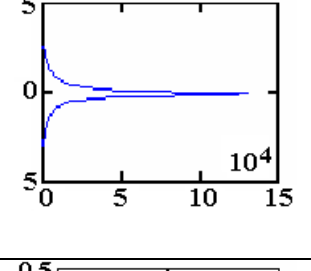
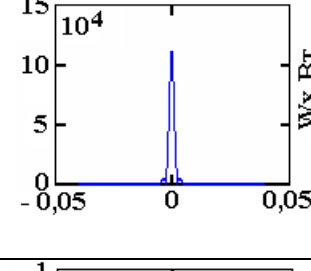
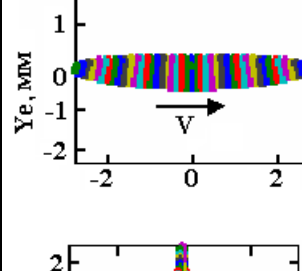
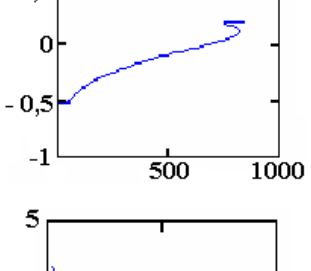
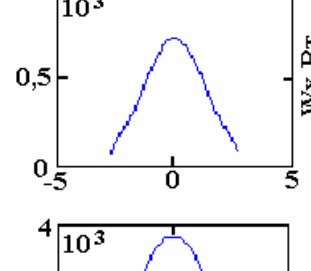
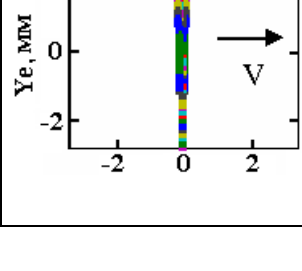
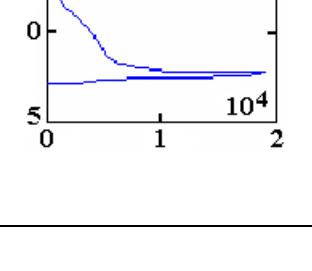
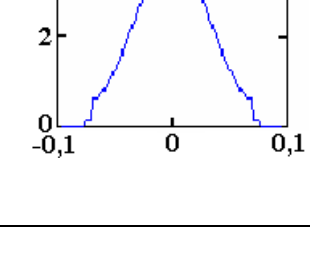


Рис. 3. Диапазоны размеров изделий, заготовок, инструментов и зон взаимодействия (а) и системная модель (б) технологического процесса обработки материала (ТПОМ), включающая подсистемы источников энергии (ИЭ), технологического оснащения (ТО), контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) для обеспечения обратных связей по изменениям энергии ( $\Delta E$ ) и материала ( $\Delta M$ ) в зоне воздействия (ЗВ) элементарного (или единичного) инструмента (ЭИ) на материал заготовки (МЗ).

При одношаговой электронной литографии [47], лазерной обработке [40], нанотехнологиях [10, 48] и в микроанализаторах типа MAP и Самеса реализуется использование квантовомеханических и резонансных взаимодействий в технологическом процессе обработки материала (ТПОМ).

Другой системной проблемой или системным несоответствием оборудования для ЭОМ микрооптики является низкочастотное и, как правило, пошаговое регулирование параметров ТПОМ. Это противоречит природе микрочастиц и требует высокочастотного, динамичного и точного пространственного квантования их энергии с помощью компьютера, подобно тому, как это осуществляется при лазерной обработке (табл. 2 из [47]), когда технологическое оснащение процесса позволяет в широком диапазоне частот изменять форму распределения и дозировки энергии воздействия фотонов. Очевидно, что решения системных проблем электронной обработки таких материалов микрооптики, как стекло и кварц, находятся в области компьютеризации управления пространственно-энергетическими характеристиками электронного потока и высокоточного дозирования энергии воздействия электронов на материал.

Таблица. 2. Распределение энергии в луче технологического лазера [32]

Параметры луча у поверхности обрабатываемого материала (3В рис. 2)			Выполняемая технологическая операция
Форма поперечного сечения луча	Распределение мощности вдоль $Ye$	Распределение мощности вдоль $Xe$	
 <p><math>Xe, мм</math> <math>Ye, мм</math> <math>V</math></p>	 <p><math>Wy, Вт</math> <math>10^4</math></p>	 <p><math>Xe, мм</math> <math>Wx, Вт</math> <math>10^4</math></p>	Прошивка отверстий, мм
 <p><math>Ye, мм</math> <math>V</math></p>	 <p><math>Wy, Вт</math> <math>10^4</math></p>	 <p><math>Wx, Вт</math> <math>10^4</math></p>	Наплавка, упрочнение
 <p><math>Ye, мм</math> <math>V</math></p>	 <p><math>Wy, Вт</math> <math>10^4</math></p>	 <p><math>Wx, Вт</math> <math>10^4</math></p>	Термическое раскалывание
 <p><math>Ye, мм</math> <math>V</math></p>	 <p><math>Wy, Вт</math> 500 1000</p>	 <p><math>Wx, Вт</math> <math>10^3</math></p>	Сварка и термическая обработка изделий с разными сочетаниями форм заготовок и свойств, соединяемых материалов
 <p><math>Ye, мм</math> <math>V</math></p>	 <p><math>Wy, Вт</math> <math>10^4</math></p>	 <p><math>Wx, Вт</math> <math>10^3</math></p>	

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дудко Г.В., Лисоченко В.Н. Проблема формирования особо чистых и бездефектных поверхностей // Материалы краткосрочного семинара. Л., 1985. С. 13–16.
2. Лисоченко В.Н. Технология электронно-лучевой полировки плат микросхем и входных окон видиконов: Дис. канд. техн. наук. 1977.
3. А.с. №1798995 СССР. Способ изготовления канальных оптических волноводов: Д.И. Котельников, Г.В. Канашевич, Г.Н. Дубровская. 1991.
4. Конопальцева Л.И. Некоторые данные о работах по интегральной оптике в СНГ // Оптическая техника. 1994. № 3. С. 8–9.
5. Канашевич Г.В., Конопальцева Л.И., Ващенко В.А. // Низкоэнергетическая электронно-лучевая обработка поверхности стекла и возможности ее использования в технологии ИО / Деп. В ГНТБ Украины 26.07.93. №1616-УК 93.
6. Поздєєв С.В., Дубровська Г.М., Конашевич Г.В., Юрінець Р.В. Дослідження технологічної спадковості діелектричних матеріалів методом еліпсометрії після електронно-променевої обробки // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. Вып.13. Донецк, 2000. С. 90–93.
7. Котельников Д.И., Федорук Ю.М. Микрооптические элементы для оптоэлектроники // Доклады V международной науч.-тех. конференции-выставки «ВОЛССПИ-94», Запорожье, НПО Хартрон 4-6/10-94.
8. Материалы конференции OE/LAS\*96, Сан-Диего, США, 1996 г.
9. Семенов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. М., 1990.
10. Нанотехнологическая установка. Рекламный проспект. М., Техническая дирекция Международного фонда конверсии. 2001.
11. Carls A.Y. Micro-optics has macro potential // Laser Focus World, June 1991, p. 93–99.
12. CO<sub>2</sub>-Laser writes microlenses on polyethylen // Photonics spectra, October 2001, p.46–48.
13. [http://www.spie.org/Microelectronics,Optoelectronics, &38;Micromachining-Browse](http://www.spie.org/Microelectronics,Optoelectronics,_&38;Micromachining-Browse) Publications –Pu..
14. MEMS and MOEMS Technology and Applications / Editor: P. Rai-Choudhury / SPIE PRESS Vol. PM85 \* December 2000, 528 p. / Published by SPIE.
15. Шмидт Д., Шварц В. Оптоэлектронные сенсорные системы. М., 1991.
16. Основы оптоэлектроники. М., 1988.
17. Свечников Г.С. Интегральная оптика. Киев, 1988.
18. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. М., 1986.
19. Крайчинская Г.Ф. и др. Обработка полимерных материалов в низкотемпературной плазме (анализ зарубежных изобретений) (Сер. Принципиально новые технологии и пр-ва. Вып. 3). Киев, 1989.
20. Пирятинская С.Ф., Гончарова А.А. Развитие ионно-лучевых технологий. (Сер. Принципиально новые технологии и пр-ва. Вып. 4). Киев, 1989.
21. Сядристый Н.С. Тайны микротехники. Ужгород, 1971.
22. Полтавцев Ю.Г. Технология обработки поверхности в микроэлектронике. Киев, 1990.
23. Sunny Vains. Stacked LED structure combines red, green and blue emitters // OE Reports, N166, October 1997, p.3.
24. Hench L.L., West I.K. Sol-gel process // Chem. Rev., Vol. 90, p.33, 1990.
25. Фандерлик М. Пороки стекла. М., 1964. С. 218–221.
26. Разрушение твердых тел // Сб. М., 1967. С. 8–9.
27. Thompson E. The Optician. Vol. 31. 1922.
28. Мовчан Б.А. Неорганические материалы, осаждаемые из паровой фазы в вакууме // Современное материаловедение. XXI век. Киев, 1988. С. 318–332.
29. Федулов А.А., Устинов Ю.А., Котов Е.П. и др. Технология многослойных печатных плат. М., 1990.

30. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалов В.И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / Под ред. Смоленцева В.П. В двух томах. М., 1983.
31. Коваленко В.С. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки материалов. Киев, 1983.
32. Хоппе Д., Мидделдорф К. Перспективы развития технологий соединения материалов // Автоматическая сварка. 2000. № 9–10. С. 157–162.
33. Хоменко Н.Н. Производство полупроводниковых датчиков электрохимической сваркой // Автоматическая сварка. 2001. № 8. С. 38–40.
34. Березин Л.Я. Некоторые особенности сварки в электростатическом поле диэлектриков с металлами и между собой // Автоматическая сварка. 2001. № 8. С. 45–49.
35. Бернадский В.Н. Состояние и перспективы мирового сварочного рынка // Автоматическая сварка 1999. № 11. С. 49–55.
36. Патон Б.Е. Современные электронно-лучевые технологии ИЭС им. Е.О.Патона НАНУ // Автоматическая сварка. 2001. № 2. С. 3–9.
37. Патон Б.Е., Мовчан Б.А. и др. Электронно-лучевые технологии получения и механические свойства массивных конденсаторов Al и Al-ZnB<sub>2</sub> // Проблемы спецэлектротехнологии. 1994. № 1–2. С. 33–37.
38. Харламов Ю.А., Борисов Ю.С. Влияние микрорельефа поверхности на прочность сцепления с газотермическими покрытиями // Автоматическая сварка. 2001. № 6. С. 19–26.
39. Hantke D., Philipp H., Sparrer G., Tschirmich J. CCD-Zeilen sind Hfzisionsatabe, Feingerate-technik, (1985). 34, № 7, 290–292.
40. Роман В.В. Підвищення ефективності лазерної обробки використанням спеціальних систем фокусування на базі сферичних дзеркал, дис. К.т.н., Київ.: НТУУ КПІ. 2001.
41. Leticia Cowan. Emerging direction in microlithography: the next generation // OE Reports, N170, February 1999, p. 1, 8.
42. Оборудование и технология электрохимического полирования насыпью. Рекламный проспект. М., Техническая дирекция Международного фонда конверсии. 2001.
43. Mitsubishi Electric Europe GmbH, Diamond-line-electro-erosion system.
44. Sunny Bains. Two photon absorbtion allows imaging of silicon currents // OE Reports, N169, January 1998, p.3.
45. Научно-исследовательские интересы ВВС США на 1995 год. [www.fedix.fie.com](http://www.fedix.fie.com) (Federal Information Exchange – Ph.-800-783-3349).
46. Geltech + Sierra Precision optics // OE Reports, N184, April 2000, p.5.
47. Дубонос С.В., Матвеев В.Н., Зайцев С.И. Свицов А.А. Технология проектирования и производства синтезированных голограмм на основе одношаговой электронной литографии // ИПТМ РАН. Рекламный проспект. 2001.
48. Формирование и исследование наноструктур. Проспект ин-та аналитприборостроения РАН. С-Пб, 2001.

*Поступила 21.01.02*

### **Summary**

The electron treatment effectiveness of optical glass and/or silica depends on a computer control for a space-energy distribution and on proportion of electron power int a treated micro-zone. The common theory of electrochemical and electrophysical treatment must be corrected, because the characteristics of materials have derivations from R.Hooke's theory during a micro-treatment.

---