

Д.И. Котельников\*, Г.В. Канашевич\*\*

## ЭЛЕКТРОННАЯ ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

\**Черниговский государственный технологический университет,*

*ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина*

\*\**Черкасский инженерно-технологический институт*

*бул. Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина*

Стремительное развитие информационных технологий, вычислительной техники и техники связи на основе электромагнитного излучения видимого диапазона обусловило жесткие требования к состоянию и качеству поверхности оптических элементов, используемых в микро-опто-электро-механических устройствах [1, 2]. Традиционные механические и механохимические методы финишной обработки оптических стекол и керамик обеспечивают высокую точность геометрии поверхностей (до I–II колец Ньютона). Однако они сопровождаются образованием химически неоднородного поверхностного слоя, насыщенного дефектами и микротрещинами, сравнимыми с длиной световой волны, и микрошероховатостями размером  $(7-9) \cdot 10^{-9}$  м, что неприемлемо для элементов интегральной, волоконной и микрооптики, работающих в условиях переменных динамических, температурных и химических воздействий. Плазменные, лазерные и пламенные методы позволяют сглаживать микрошероховатости, но не обеспечивают требуемой геометрической точности оптической поверхности (см. таблицу).

Проблема формирования особо чистых и бездефектных поверхностей была впервые поставлена и решена Г.В. Дудко и В.Н. Лисоченко для плат микросхем и входных окон видиконов [1, 3]. Исследования и создание техники и технологии электронной обработки оптических стекол К-8, К-108, БК-10, ТК-21, ТФ-110 и керамик КО-1, КО-4, КО-12 [4–7] выявили следующие перспективные технологические направления:

- целенаправленное структурное и химическое модифицирование поверхностных слоев оптического материала для формирования канальных волноводов в изделиях интегральной оптики;
- формирование растров, элементов рефрактивно-дифрактивной оптики, линз Френеля, светофильтров, коллиматоров, объективов и других оптических элементов с размерами от 10 и более микрометров;
- формирование напряженного состояния в поверхностных слоях оптического материала для повышения его ударной стойкости либо для получения ювенильных поверхностей требуемых форм и размеров.

Физической основой процесса электронной обработки стекла и керамики служит появление у них заметной электропроводности при нагреве.

Технической основой служит электронная пушка Пирса, формирующая в вакууме поток ленточной формы удельной мощностью  $(0,5-1) \cdot 10^4$  Вт/см<sup>2</sup> и работающая при ускоряющих напряжениях до 10 кВ (рис. 1). Скорость перемещения электронной ленты по обрабатываемой поверхности изменяют в диапазоне  $v_{\text{пот}} = 1-10$  см/с, поскольку этот технологический параметр зависит от исходного состава и геометрии, предназначения и требуемого качества обрабатываемого оптического элемента или изделия. Возможность точного регулирования указанных выше параметров позволяет осуществлять разнообразные технологические операции (рис. 2): нагрев, плавление, испарение и сварку оптических стекол и керамик; отжиг и формирование напряженного состояния в обрабатываемом материале; термическое скалывание пластинчатых слоев; получение ювенильных

поверхностей; формирование оптического микрорельефа на поверхности; полировку (сглаживание микрорельефа) поверхности; изменение химического состава поверхностных слоев; формирование многослойных оптических структур и волноводов.

В зависимости от плотности энергии, выделяемой электронным потоком на обрабатываемой поверхности, можно процесс взаимодействия электронного потока со стеклом (керамикой) разделить на две стадии: электронная обработка материала в твердой фазе (ЭОМТФ, рис. 3); электронная обработка материалов с образованием жидкой фазы (ЭОМЖФ, рис. 4).

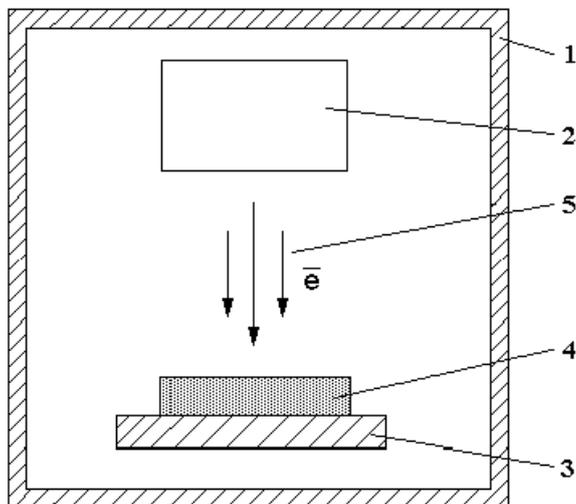


Рис. 1. Устройство для обработки изделий электронным потоком:

1 – вакуумная камера; 2 – электронная пушка; 3 – предметный столик; 4 – обрабатываемое изделие; 5 – поток электронов.

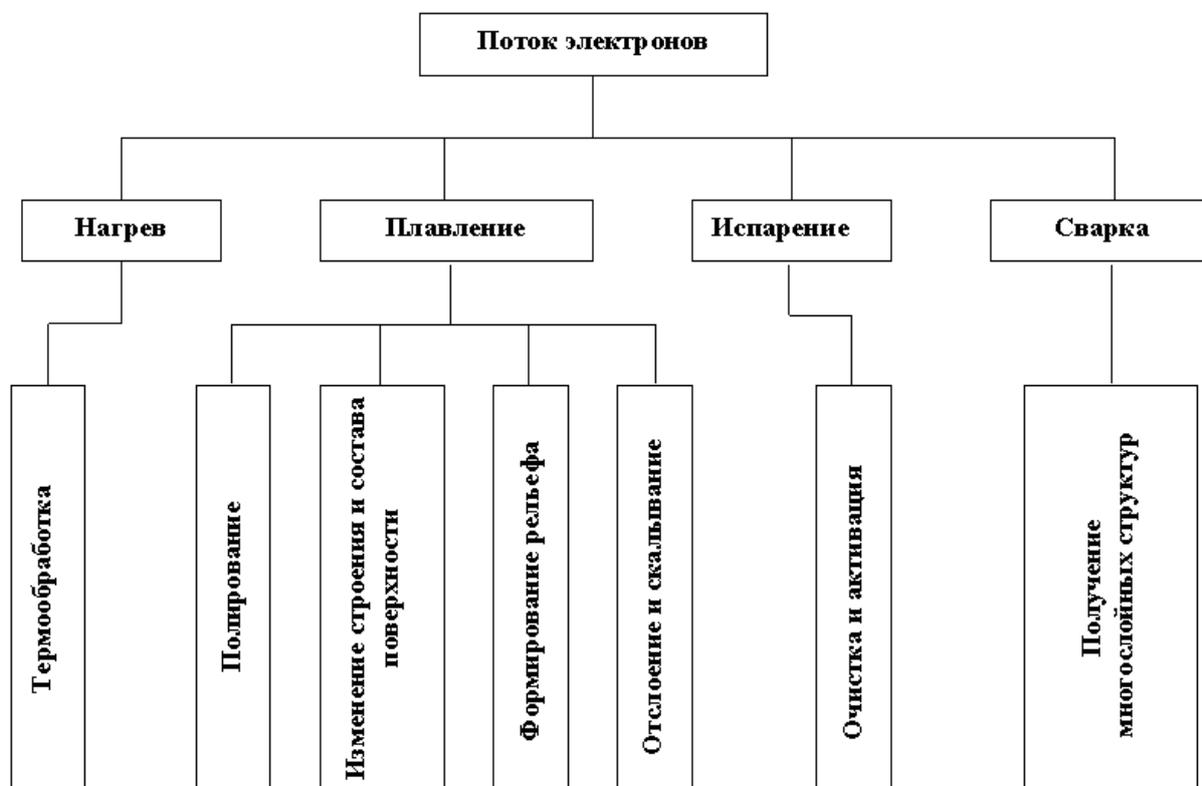


Рис. 2. Схема электронной обработки поверхности оптических материалов.

Процесс ЭОМТФ заключается в удалении с поверхности гидратированных и гелевых пленок, в обезгаживании поверхностного слоя и сглаживании оставшегося после механического или механо-

Характеристики методов полирования оптических стекол

Вид полирования	Характеристики поверхности стекол К-8, К-108, БК-10, ТК-21					Характеристика производства	
	размеры микронеровности, м	точность поверхности, кольца Ньютона	дефектный слой	химическая однородность поверхности	коэффициент двойного лучепреломления, м	экологическая чистота	совместимость с микро-технологиями
1. Механическое (Химико – механическое)	$(7-9) \cdot 10^{-9}$	II-I	имеется	неоднородна	$(2-50) \cdot 10^{-6}$	низкая	нет
2. Лазерное	$(2-3) \cdot 10^{-9}$	V-IV	имеется небольшой	неоднородна	не изучено	высокая	имеется
3. Огневое	$(3-7) \cdot 10^{-9}$	V-III	нет	неоднородна	не изучено	низкая	нет
4. Электронное	$(2-3) \cdot 10^{-9}$	I-0	нет	однородна	$(25-275) \cdot 10^{-6}$	высокая	имеется
5. Плазменное	—	—	—	неоднородна	не изучено	низкая	нет

*Примечание. Анализ табличных данных позволяет полагать, что у электронной обработки оптических материалов имеются перспективные преимущества в технологиях, предназначенных для поверхностной микрообработки.*

химического полирования микрорельефа оптических изделий. В результате ЭОМТФ у оптического элемента на 20–50% повышается светопропускание, возрастает поверхностная активность оптического материала и в 1,5–2 раза ускоряется растворимость стекла в плавиковой кислоте. Активация поверхности обеспечивает возможность получения матированных рисунков на стекле и существенно повышает адгезию напыляемых на него металлических пленок специального назначения. Первая стадия электронной обработки не ликвидирует дефектный и трещиноватый слои и не производит структурной и химической модификации оптических материалов (рис. 3).

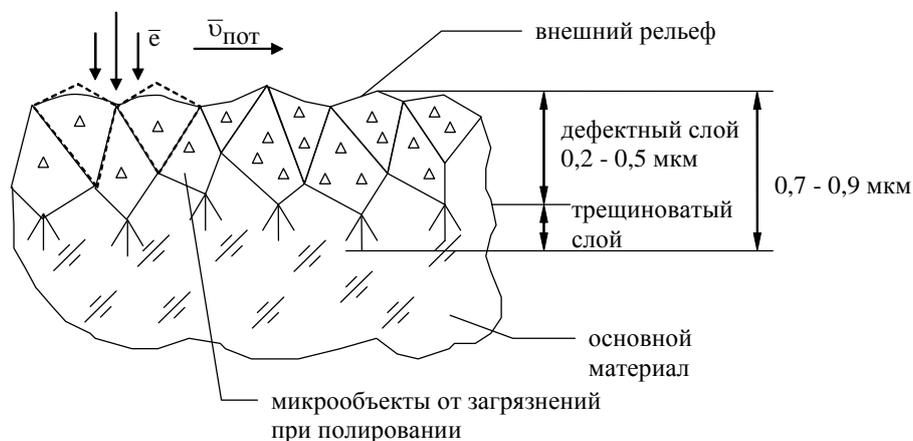


Рис. 3. Схема первой стадии электронной обработки поверхности оптического материала в твердой фазе (ЭОМТФ).

$\bar{v}_{\text{пот}}$  – скорость движения электронного потока по обрабатываемой поверхности.

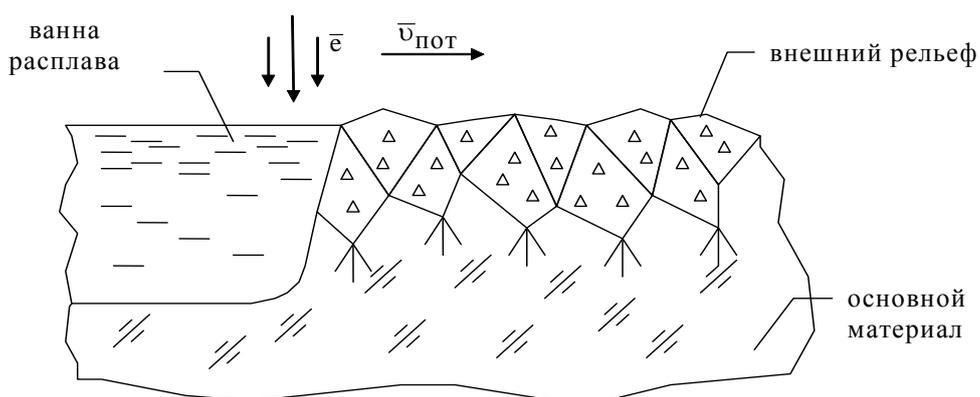


Рис. 4. Схема обработки оптического материала с образованием жидкой фазы (ванны расплава) в поверхностном слое стекла (ЭОМЖФ).

Для дальнейших изменений свойств поверхностных слоев оптического материала необходим их переплав, управление термическим циклом которого позволит получать любой из вышеперечисленных технологических результатов (рис. 2). Установлено, что после ЭОМЖФ при глубине ванны расплава в 10–20 мкм устраняются дефектный и трещиноватый слои, а коэффициент двойного лучепреломления повышается по сравнению с результатами механического полирования с  $(2-50) \cdot 10^{-6}$  до  $(25-275) \cdot 10^{-6}$  м, то есть в 12–5 раз. Микронеровности на поверхности застывшей ванны расплава остаются сглаженными и равными 3–5 нм при глубине зоны термического влияния примерно вдвое большей глубины ванны расплава. Поскольку стекло не имеет точки плавления, четкое определение границы расплава затруднительно.

Управление термическим циклом плавления, застывания и последующего отжига оптического материала позволяет формировать в нем требуемый уровень остаточных напряжений. Например, в изделиях из стекол К-8, К-108, БК-10, ТК-21 формировали поля остаточных напряжений сжатия в 62–66 МПа и напряжений растяжения до 3,2–3,6 МПа, что обеспечивало их надежную эксплуатацию при ударных нагрузках. При жестких термических воздействиях возможно управляемое термическое скалывание тонких плоских элементов с образованием ювенильных поверхностей (рис. 5).

Поверхностный электронный переплав оптического материала сопровождается испарением легкоплавких компонентов, увеличением доли тугоплавкой (силикатной) составляющей и соответству-

ющим изменением показателя внутреннего отражения, что позволяет формировать кварцевые оптические волноводы на поверхности силикатных стекол.



Рис. 5. Тонкая пластина, лежащая наклонно; получена термическим скалыванием в результате электронной обработки части диска из оптического стекла К-8.

Керамики на основе селенида цинка, фторидов алюминия и магния обладают высокой упругостью паров и поэтому не могут быть переплавлены подобно стеклу. Тем не менее, электронная обработка в вакууме сфероподобных изделий из оптически прозрачных керамик позволила формировать сжимающие напряжения, обеспечивающие их надежную эксплуатацию в условиях жестких динамических нагрузений. В результате электронной обработки керамик на 15–30% возросли показатели ударной прочности и на 20–30% – коэффициенты пропускания электромагнитного излучения для волн в диапазоне 2,5–7 мкм.

**Выводы.** Исследованиями и промышленной проверкой установлено, что низкоэнергетические потоки электронов позволяют: а) проводить целенаправленные физико-химические изменения поверхностных слоев оптических материалов, б) формировать микрорельеф на оптической поверхности и волноводы различных траекторий, в) получать ювенильные поверхности и пластинчатые сколы оптического стекла.

#### 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 видеоканалов: Дис. ... канд. техн. наук. 1977.
3. А.с. № 1798995 СССР. Способ изготовления канальных оптических волноводов. Д.И. Котельников, Г.В. Канашевич, Г.Н. Дубровская. Опубл. 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. 10 с.
6. Поздєєв С.В., Дубровська Г.М., Конашевич Г.В., Юрінець Р.В. Дослідження технологічної спадковості діелектричних матеріалів методом еліпсометрії після електронно-променевої обробки. Прогресивные 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 научн.–техн. конференции-выставки ВОЛССПИ-94, Запорожье, НПО Хартрон 4-6/10-94. Материалы конференции ОЕ/LAS\*96, Сан-Диего, США, 1996.

Поступила 12.12.2001

#### Summary

Investigation results of optics ceramics and glasses after treatment by electron tape formed flaxes with accelerating voltage less then 10 keV are described.