

15. *Butenkov S.* Granular Computing in Image Processing and Understanding // In Proc. of IASTED International Conf. on AI and Applications "AIA-2004", Innsbruck, Austria, February 10-14, 2004.
16. *Erwig M., Schneider M.* Vague Regions// 5th Int. Symp. on Advances in Spatial Databases (SSD). – 1997. – LNCS 1262. – P. 298-320.
17. *Бутенков С.А.* Алгебраические модели в задачах интеллектуального анализа многомерных данных // Математическая теория систем 2009 (МТС-2009). Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. – М., 2009. – С. 93-101.

Бутенков Сергей Андреевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: saab@tsure.ru.

347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371668.

Кривша Наталья Сергеевна

E-mail: vit@tsure.ru.

Тел.: 88634371606.

Кривша Виталий Владимирович

Butenkov Sergey Andreevich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University".

E-mail: saab@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371668.

Krivsha Natal'ya Sergeevna

E-mail: vit@tsure.ru.

Phone: +78634371606.

Krivsha Vitaliy Vladimirovich

УДК 621.383.734: 621.9.048.7

Е.В. Луговой, С.Н. Петров, П.В. Серба

**РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКОЛ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ**

Исследовались оптические характеристики поверхности стекла СТК 19 после электронно-лучевой обработки методами лазерной эллипсометрии. Установлено, что поверхность образцов после обработки характеризуется как стекло с более высоким показателем преломления, благодаря появлению в модифицированной поверхности метаборитов лантана, повышающих показатель преломления на 3 %.

Электронно-лучевая обработка; эллипсометрия; модификация.

E.N. Lugovoy, S.N. Petrov, P.V. Serba

**THE CALCULATION OF GLASS OPTIC CHARACTERISTICS, MODIFIED
BY ELECTRON BEAM**

Optical characteristics of the glass STK 19 surface of after electron beam treatment using laser ellipsometric were investigated. It is established that the surface of samples after processing

is characterised as glass with higher indicator of refraction, thanks to occurrence in the modified surface lanthanum metaborite raising a refraction indicator on 3 %.

Electron beam treatment; ellipsometry; modification.

В работе исследовались оптические характеристики поверхности стекла методами лазерной эллипсометрии. Исследовались образцы стекла СТК 19, подготовленные по стандартной технологии полировки и после электронно-лучевой обработки (ЭЛО). При использовании нулевой методики эллипсометрии были получены эллипсометрические параметры материала поверхности (азимут поляризации ψ и фазовый сдвиг Δ) для областей исходной необработанной поверхности, отожженной при температуре 450° С и после ЭЛО. Установлено, что поверхность образцов после ЭЛО характеризуется как стекло с более высоким показателем преломления, благодаря появлению в модифицированной поверхности метаборитов лантана повышающих показатель преломления на 3 % [1]. Следствием такой модификации поверхности стекла СТК 19 является повышение механической прочности образцов после ЭЛО в среднем на 30 % и химической стойкости, относительно необработанной поверхности.

В электронных приборах, преобразующих и формирующих оптическое излучение, широко применяются различные виды оптических стекол. В зависимости от стеклообразующего материала стекла, оптические детали электронных приборов имеют различную стойкость к воздействию окружающей среды.

Высокая химическая устойчивость по отношению к агрессивным средам – сохранять оптическую плотность материала и сопротивляемость прибора к внешним воздействиям.

Химическая стойкость объекта исследования – стекла СТК 19, относящегося к боролантановой группе, – характеризуется налетоопасностью и пятнаемостью. Величина механической и химической устойчивости зависит от глубины модифицированного слоя.

По налетоопасности СТК 19 относится к группе неналетоопасных, а по пятнаемости – к группе нестойких стекол, требующих обязательного применения защитных покрытий.

Ранее в литературе указывалось, что использование ЭЛО позволяет в 1,8-2,1 раза повысить устойчивость стекла к растягивающим напряжениям и в 3-4 увеличить прочность изделий [2].

Для оценки повышения химической и механической стойкости нами проводились исследования оптических параметров поверхности – показателя преломления и глубины модифицированного слоя.

Исходные образцы стекла СТК 19 были обработаны по стандартной технологии механической полировки. ЭЛО образца проводилась в специализированной вакуумной установке при энергии ленточного луча 2–2,5 кэВ и плотности тока 50–100 мА/см², при этом часть образца была закрыта никелевой пластиной.

Для анализа оптических характеристик образца использовался метод эллипсометрии, обладающий высокой чувствительностью и позволяющий изучать приповерхностные свойства структурно и химически неоднородных объектов.

Измерения проводились на лазерном фотоэлектрическом эллипсометре ЛЭФ-3М при длине волны 632,8 нм и углах падения 45° и 54° для трех областей: исходной поверхности образца, области после нагрева и области после электронно-лучевой обработки.

Эллипсометр работает следующим образом. Источник излучения генерирует световой пучок, который модулируется по интенсивности модулятором и направляется на образец под заданным углом к поверхности образца. Пройдя оптические элементы плеча поляризатора, пучок отражается от образца, а затем попадает в плечо анализатора. В плече анализатора пучок света попадает на переключатель,

который направляет его либо на экран, либо на фотоприемник (после предварительного гашения на экране для предотвращения засветки фотоприемника световым потоком большой интенсивности).

Для вычисления искомых параметров используется основное уравнение эллипсометрии:

$$\operatorname{tg} \Psi \cdot \exp(i \cdot \Delta) = \rho.$$

Оно устанавливает связь между микроскопическими и макроскопическими характеристиками образца и называется азимутом поляризации – $\Psi = \frac{|A_1 - A_2|}{2}$,

а угол $\Delta = \frac{-4(P_1 - P_0) + 4\pi}{2}$ – фазовым сдвигом разности фаз составляющих отраженной волны относительно падающей. Величину ρ называют относительным коэффициентом отражения поляризованного излучения.

Вычисление Δ и Ψ соответствует прямой задаче эллипсометрии.

Обратная задача эллипсометрии состоит в определении показателя преломления, глубины модифицированного слоя по полученным значениям Δ и Ψ .

При этом показатель преломления определяется по формуле

$$N_0 = N_1 \sin \varphi_1 \sqrt{\left(\frac{\rho - 1}{\rho + 1}\right)^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_1 + 1},$$

где N_0 – показатель преломления модифицированного слоя; N_1 – показатель преломления подложки; φ_1 – угол падения; ρ – относительный коэффициент отражения поляризованного излучения.

Глубина модифицированного слоя определяется методом Холмса.

В этом случае, если величина $X = \exp(-2 \cdot i \cdot (\frac{2d \cdot \cos \theta_i}{\lambda_0}))$ есть экспонента с

чисто мнимым показателем, т.е. ($X = 1$, то

$$X = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

$$a = (N_0^2 N_2^2 - N_1^4)(\rho + 1) + (u_{0s} u_{1p}^2 u_{2s} - u_{0p} u_{1s}^2 u_{2p})(\rho - 1),$$

$$b = (N_2^2 - N_1^2)(u_{0p} u_{1s} + u_{0s} u_{1p})(\rho + 1) + (N_0^2 + N_1^2)(u_{1p} u_{2s} - u_{1s} u_{2p})(\rho - 1),$$

$$c = N_1^2 \left[(N_2^2 - N_0^2)(\rho + 1) + (u_{0p} u_{2s} - u_{0p} u_{2p})(\rho - 1) \right],$$

$$\operatorname{Re} x = 0,$$

$$u_{js} = \sqrt{N_j^2 - N_2^2 \sin^2 \varphi_2}, \quad u_{jp} = \frac{N_j}{\cos \varphi_j} = \frac{N_j^2}{\sqrt{N_j^2 - N_2^2 \sin^2 \varphi_2}}.$$

Таким образом, толщина модифицированного слоя определяется следующим выражением: $d = \frac{\lambda \operatorname{arctg}(\operatorname{Im} x)}{2\pi u_{1s}}$.

Среднее значение глубины нарушенного слоя при соответствующем угле падения для каждой области поверхности представлено в таблице.

Исходная поверхность образца		
φ	N	d, нм
45	1,774±0,003	60,841±1,324
54	1,770±0,005	67,598±1,982
Область после нагрева		
φ	N	d, нм
45	1,785±0,006	48,02±8,452
54	1,777±0,002	49,289±3,34
Исходная поверхность образца		
φ	N	d, нм
45	1,812±0,011	41,972±5,285
54	1,813±0,013	27,103±9,210

Сравнивая результаты вычислений, можно видеть, что показатель преломления модифицированного слоя области, обработанной электронным лучом, стал больше, а высота слоя уменьшилась.

Таким образом, проводя анализ стекол группы «сверхтяжелый крон», было установлено, что в многокомпонентных стеклах типа СТК показатель преломления растет при увеличении компонентов окислов лантана и бора. Это свидетельствует об удалении из стекла поверхности слабо связанных модификаторов стекла.

Одновременно, при воздействии электронного луча в зоне расплава окись бората сублимирует на метабориты, которые способствуют синтезу метаборатов лантана, в большей степени отвечающих за повышение показателя преломления стекла, микротвердость и плотность материала стекла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Виноградова Н.Н., Дмитрук Л.Н., Петрова О.Б.* // ФХС. – 2004. – Т. 30. – № 1. – С. 3-8.
2. *Дудко Г.В., Кравченко А.А., Чердиченко Д.И.* // ФХС. – 1987. – Т. 13. – № 5. – С. 740-746.

Луговой Евгений Владимирович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: euglugovoy@yandex.ru.

347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: +7604695926; 88634371940.

Серба Павел Викторович

E-mail: serba@tsure.ru.

Петров Сергей Николаевич

ОАО "Научно-производственное предприятие космического приборостроения "Квант".

E-mail: sinoptic60@mail.ru.

344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 7.

Тел.: 8632240656; +79885100614.

Lugovoy Evgeny Vladimirovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: euglugovoy@yandex.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +7604695926; +78634371940.

Serba Pavel Victorovich

E-mail: serba@tsure.ru.

Petrov Sergey Nicolaevich

“Scientific production association of space device making "Kwant".

E-mail: sinoptic60@mail.ru.

7, Milchakova street, Rostov-on-Don, 344090.

Phone: 8632240656; +79885100614.

УДК 53.004

В.А. Жорник, Ю.А. Прокопенко

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ СТЕКЛЯННЫХ
ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ТРУБ**

Рассматриваются процессы, происходящие на контактной поверхности при получении покрытий из неорганического стекла на внутренних поверхностях металлических труб. Вводится граничное условие, характеризующее степень проскальзывания труб относительно друг друга. Проводится сравнение расчетных характеристик напряженного состояния цилиндров с экспериментальными данными.

Покрытие; осевые температурные напряжения; коэффициент термического расширения.

V.A. Zhornik, Yu.A. Prokopenko

**GLASS COATING OF METAL TUBES' INNER SURFACES PROCESS
MODELING**

Processes occurring on the contact surface at nonorganic glass covering obtaining on inner surfaces of metallic tubes are considered. Boundary condition characterizing the slipping rate of the tubes one against another is introduced. Comparison of calculated stress state characteristics of the cylinders with experimental data is performed.

Covering; axial temperature stresses; thermal expansion coefficient.

Металлические трубы с внутренним стеклянным покрытием находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Одним из методов нанесения покрытий является баллонный метод, который заключается в раздувании стеклянного баллона внутри металлической трубы, разогретой до температуры нанесения покрытия T_n , выдержки при ней и медленного охлаждения изделия. Составы стекол для внутренних покрытий подбираются с таким расчетом, чтобы коэффициент термического расширения стекла был ниже коэффициента термического расширения металла. Из-за этой разницы в стеклянном покрытии создавались напряжения сжатия, положительно влияющие на рабочие свойства покрытий [1].

Экспериментальные [2] и теоретические [3] исследования процессов нанесения покрытий из стекла на внутренние поверхности стеклянных труб показали, что