

ПОЛУЧЕНИЕ ЗАДАННОГО ЛИНЕЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В СТЕКЛЕ ПУТЕМ ДИФфуЗИИ СЕРЕБРА ЧЕРЕЗ МАСКУ

© 2009 г. Б. И. Юдин

Санкт-Петербургский Государственный технологический университет растительных полимеров,
Санкт-Петербург

E-mail: judinbris@rambler.ru

В статье описывается технология получения заданного распределения показателя преломления в стекле путем модификации кристаллической структуры маски стеклянной матрицы с последующей ионообменной диффузией через нее. Эта технология может быть использована для изготовления линз большого диаметра (20–100 мм) с радиальным распределением показателя преломления. Рассматривается влияние интенсивности облучения стекла УФ светом на диффузионную прозрачность маски.

Коды OCIS: 160.2750.

Поступила в редакцию 30.06.2008.

Градиентные элементы (граданы, световоды, линзы) обычно получают путем ионообменной диффузии из цилиндрических заготовок. При этом профиль распределения показателя преломления имеет аксиальную симметрию и диаметр оптических элементов не превышает 20 мм. Эта технология не позволяет получать линзы большого диаметра (20–100 мм) и корректировать в них аберрации. Необходим поиск новых технологических процессов, позволяющих реализовать в оптических заготовках большого диаметра радиальное распределение показателя преломления заданного вида. В качестве такого процесса можно использовать ионообменную диффузию через диффузионно-прозрачную маску, прозрачностью которой можно управлять в процессе ее изготовления.

В стеклах ряда составов путем фото- и термообработки можно вызвать выделение кристаллической фазы в объеме или в слое, например на поверхности заготовки. Наличие стадии фотооблучения при кристаллизации фазы в стекле позволяет при необходимости получать радиальное распределение плотности этой фазы и формировать своеобразную маску на поверхности стекла с заданной диффузионной прозрачностью.

Данная работа посвящена разработке методики получения заданного линейного распределения градиента показателя преломления по длине образца стекла путем диффузии ионов серебра через диффузионно-прозрачную маску, сформированную на поверхности стекла. В качестве материала маски была выбрана кристаллическая фаза метасиликата лития, которая является наиболее плотной из всех ситаллов, образующихся в стекле, и имеет близкий к стеклу мольный объем. Экспериментально было установлено, что только ионы серебра и лития,

благодаря своей высокой подвижности, могут проходить через такую маску; катионы других щелочных металлов, способные участвовать в процессе ионообменной диффузии в стекло, например, натрий или калий, не проходят через кристаллический слой. Существуют и другие способы образования маски на поверхности стекла (напыление, наклеивание и т. д.), но предлагаемый способ отличается тем, что диффузионную прозрачность маски можно заранее рассчитать и контролировать непосредственно в процессе образования заданного распределения показателя преломления в стекле. После получения нужного распределения в стеклянной матрице за кристаллическим слоем ситалловая маска, образованная в стекле, сошлифовывается с его поверхности.

Эта методика позволяет получать заранее рассчитанную форму распределения показателя преломления. Экспериментально были найдены параметры технологического цикла, позволяющие оптимизировать вид этого линейного распределения. Важнейшим параметром, не зависимым от других параметров, является время экспозиции облучения стекла УФ светом. Управление временем экспозиции позволяет задавать диффузионную прозрачность маски по отношению к ионам серебра и, соответственно, вид распределения показателя преломления.

Образцы стекла представляли собой плоскопараллельные пластины с размерами 30×8×5 мм. Технологическая обработка образцов состояла из четырех стадий:

1. Ионообменная диффузия $Ag^+ \leftrightarrow Li^+$ с целью создания на поверхности стекла светочувствительного слоя толщиной 70–100 мкм с заданным содержанием ионов серебра [1].

2. Облучение образцов стекла УФ светом ($\lambda = 250\text{--}470$ нм) с целью создания фотовозбужденных электронов и их захвата на ловушки в стекле.

3. Отжиг образцов стекла при температуре $600\text{--}610$ °С в течение 2 ч для восстановления ионов серебра до атомарного состояния и металлических коллоидных скоплений, которые являются центрами кристаллизации и образования кристаллической фазы метасиликата лития, что приводит к образованию маски на поверхности образца.

4. Проведение вторичной ионообменной диффузии ионов серебра через маску с градиентом концентрации кристаллической фазы с целью создания заданного градиента распределения показателя преломления в стекле [2].

На рис. 1 приведена фотография экспериментального образца, прошедшего все четыре стадии технологической обработки, с полученным в нем заданным градиентом распределения показателя преломления. Ионный обмен в расплаве солей проводился в керамических тиглях емкостью 0,2 л в шахтной печи СШОЛ при температуре $450\text{--}600$ °С с длительностью обработки от 5 мин до 11 ч. Температура расплава в тигле поддерживалась с точностью ± 1 °С.

Облучение образцов УФ светом от ртутной лампы ДРШ-100 осуществлялось через оптическую щель. В процессе облучения проводилось сканирование пучком света по длине образца путем перемещения образца относительно неподвижной щели с помощью программного устройства РУ-5-02М. Программное устройство позволяло задавать перемещение образца относительно щели с переменной скоростью, зависимость которой от времени могла меняться в желаемых пределах. В итоге программное устройство позволяло устанавливать необходимый закон экспозиции УФ света по длине образца [3].

Измерения распределения показателя преломления по длине образца производились на интерферометре Маха–Цандера. В качестве источника света использовался гелий-неоновый лазер ЛГ-56 ($\lambda = 6328$ Å). Поле интерферометра имело диаметр 40 мм, интерферометрическая картина фотографировалась фотоаппаратом, интерферограммы обрабатывались на микрокомпараторе ИЗА-2. По полученным интерферограммам определялась зависимость градиента перепада показателя преломления от длины образца. После проведения третьей стадии обработки образцов – отжига в шахтной печи – исследовалось содержание в них кристаллической фазы. Были проведены рентгенографические измерения кристаллической фазы в образцах, а также измерения спектров в области ее собственного по-



Рис. 1. Фотография экспериментального образца.

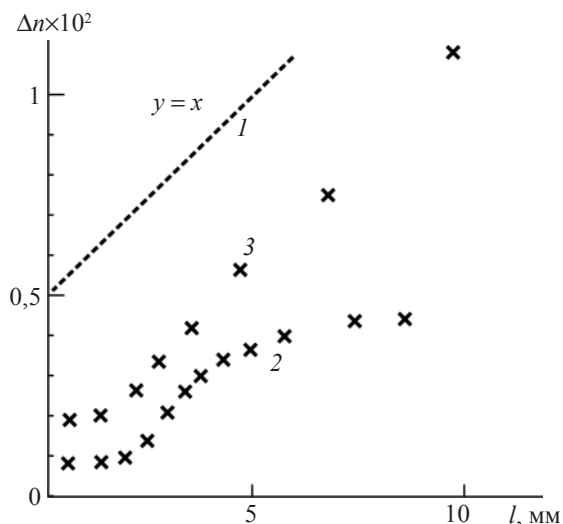


Рис. 2. Графики, иллюстрирующие соответствие линейного закона изменения экспозиции при облучении образца (1) и формы профиля градиента распределения показателя преломления Δn на лицевой (2) и обратной (3) стороне образца после проведения всех четырех стадий технологического цикла обработки стекла.

глощения. В результате было определено наличие в образце кристаллической фазы метасиликата лития, а распределение ее концентрации по длине образца определялось по поглощению света на длинах волн 525, 550 и 630 нм.

Экспериментально было установлено, что оптимальная толщина кристаллического слоя на поверхности образца должна составлять 70–100 мкм. Такая толщина маски обеспечивает лучшие условия при проведении дальнейшей ионообменной обработки стекла. При этом полированная поверхность заготовки обеспечивала лучшую воспроизводимость распределения показателя преломления по длине образца чем шлифованная, а форма профиля градиента распределения показателя преломления более соответствовала закону изменения экспозиции.

В процессе ионообменной диффузии светочувствительный слой образовывался на всех гранях образца. Та грань образца, которая непосредственно подвергалась УФ облучению, называлась лицевой поверхностью, а грань, подвергавшаяся воздействию облучения, ослабленного прохождением толщины образца, – обратной поверхностью.

На рис. 2 приведены графики, иллюстрирующие соответствие линейного закона изменения экспозиции при облучении образца и формы профиля градиента распределения показателя преломления на лицевой и обратной сторонах образца после проведения всех четырех стадий технологического цикла обработки стекла. Из приведенных графиков видно, что форма профиля на обратной стороне образца имеет большее приближение к линейной, чем на лицевой.

На рис. 3 приведены графики, иллюстрирующие зависимость полученных форм профиля градиента

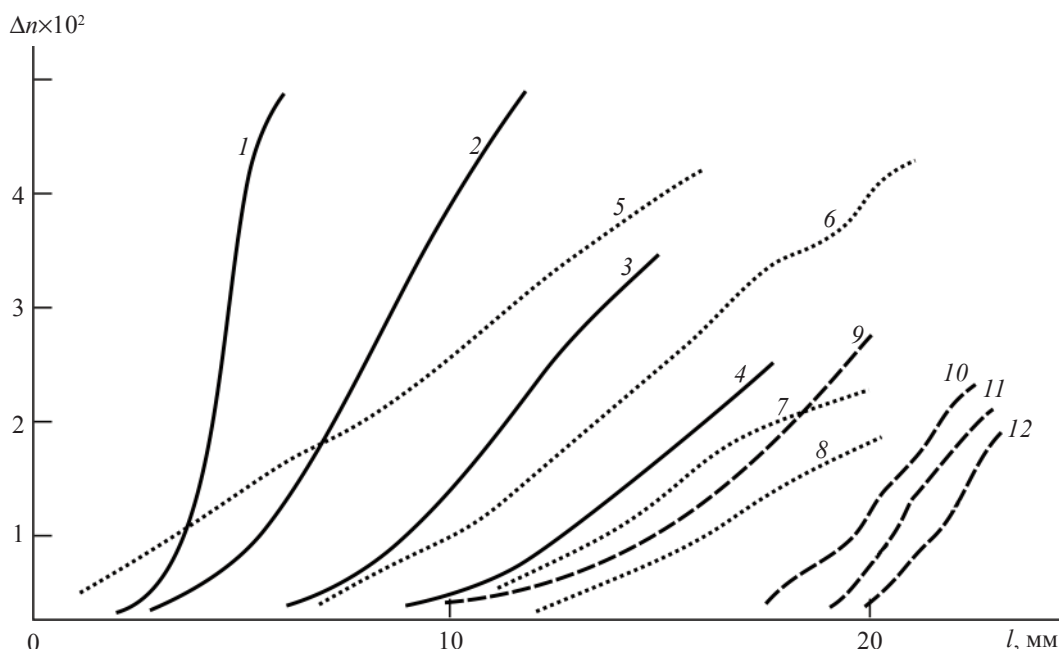


Рис. 3. Графики, иллюстрирующие зависимость полученных форм профиля градиента распределения показателя преломления на обратной стороне образцов – при трех различных способах задания линейного закона изменения экспозиции облучения образцов: 1–4 – $y = x$, 5–8 – $y = 0,4x$, 9–12 – $y = 0,5x$; – с кратным увеличением интенсивности облучения: 2, 6, 10 – в 2 раза; 3, 7, 11 – в 3 раза; 4, 8, 12 – в 4 раза.

распределения показателя преломления на обратной стороне образцов при трех различных способах задания линейного закона изменения экспозиции при облучении образцов с кратным увеличением интенсивности облучения в 2, 3 и 4 раза. При этом слой с полученным распределением показателя преломления на лицевой стороне образца сошлифовывался.

Из приведенных графиков видно, что полученные формы градиентов распределения показателя преломления практически линейны и имеют одинаковый наклон, соответствующий присущему им способу задания линейного закона изменения экспозиции при облучении образцов.

Таким образом, установлено, что форму полученного в стекле градиента распределения показателя преломления можно заранее рассчитать и изготовить варьированием таких параметров технологического процесса обработки стекла, как время и температура проведения ионообменной диффузии, температура отжига стекла, но основным параметром для варьирования является время экспозиции при УФ облучении стекла. К преимуществам этого параметра относятся высокая степень точности, широкий диапазон варьирования, легкость и простота применения, а также его полная независимость от флуктуаций окружающей среды и параметров тех-

нологического цикла. При оптимизации остальных параметров и задании линейного закона изменения времени экспозиции при УФ облучении стекла форма распределения показателя преломления по длине образца на его обратной стороне тоже будет линейна в соответствии с законом изменения времени экспозиции. При задании нелинейного закона изменения времени экспозиции облучения стекла полученная в результате проведения технологического цикла форма распределения показателя преломления по длине образца на его обратной стороне также будет соответствовать форме закона изменения времени экспозиции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валов П.М., Грилихес С.Ф., Полянский М.Н., Юдин Б.И. Формирование поверхностных светочувствительных слоев стекла методом ионообменной диффузии // Физика и химия стекла. 1994. Т. 20. № 3. С. 427–429.
2. Грилихес С.Ф., Полянский М.Н., Юдин Б.И., Якхинд А.К., Жилин А.А., Чуваева Т.И. Способ изготовления стекла с градиентом показателя преломления // Патент РФ № 2008287. 1994.
3. Юдин Б.И. Способ коррекции aberrаций в оптических элементах из стекла // Патент РФ № 2328758. 2008.