

НОВОЕ ЛАЗЕРНОЕ ФОСФАТНОЕ СТЕКЛО

© 2004 г. Л. И. Авакянц, В. И. Молев, канд. техн. наук; А. Е. Поздняков, канд. техн. наук; В. Ф. Суркова
ОАО "Лыткаринский завод оптического стекла", г. Лыткарино, Московская область

Разработано технологичное лазерное стекло на фосфатной основе ЛФС5 с параметрами на уровне фосфатных стекол ведущих стран-производителей. Освоена технология получения стекла ЛФС5 высокого оптического качества для крупногабаритных активных элементов в виде стержней длиной до 1000 мм при варке стекла в платиновом тигле небольшого объема.

Коды OCIS: 160.0160, 160.3380.

Поступила в редакцию 01.06.2004.

В последние два десятилетия как у потребителей лазерной техники, так и у ее разработчиков отмечается повышенный интерес к лазерному стеклу на фосфатной основе. Все ведущие оптические фирмы, занимающиеся производством лазерного стекла, в настоящее время изготавливают активные элементы из фосфатных стекол [1]. Например, фирма "Schott" (Германия) производит стекла разработок фирмы "Owens Illinois" (США) LG750, LG760; фирма "Kigre" (США) производит стекла Q88, Q94, Q98, Q100; фирма "Ноуа" (Япония) производит стекло LHG8.

Это связано с тем, что фосфатные лазерные стекла имеют несомненные преимущества перед силикатными стеклами по всему комплексу спектрально-люминесцентных параметров, определяющих их эффективность, это видно, например, из справочного обзора по лазерным стеклам [2].

Все производимые в настоящее время в мире фосфатные стекла обладают высокими значениями определяющих лазерных параметров: сечением стимулированного излучения и коэффициентом усиления. Практически все фосфатные стекла являются атермальными. Фосфатная основа допускает введение значительного количества активатора без существенного снижения квантового выхода люминесценции. Класс фосфатных стекол устойчив к воздействию ультрафиолетового излучения.

Фосфатные стекла уступают силикатным только по термостойкости и механической прочности. Однако как отечественные (КГСС 0180), так и зарубежные разработки последних лет привели к созданию более прочных фосфатных стекол с высокой лазерной эффективностью.

Фосфатные стекла имеют два основных применения:

- в усилительных каскадах мощных лазерных систем в виде крупногабаритных активных стержней, пластин и дисков при малой концентрации активатора [3];
- в лазерах импульсно-периодического действия при высокой концентрации активатора и малом размере активного элемента [4].

Требования, предъявляемые к лазерному стеклу, чрезвычайно высоки. В статье [5] подробно изложены основные из них и дана оценка влияния технологических факторов на спектрально-люминесцентные параметры лазерных стекол.

Во времена СССР производством фосфатных стекол серии ГЛС22(32)–24 (разработка ГОИ им. С.И. Вавилова) занимался на Украине Изюмский приборостроительный завод (ИПЗ). В постсоветское время ОАО "Лыткаринский завод оптического стекла" (ЛЗОС) взялся за разработку технологичного лазерного фосфатного стекла и его промышленное освоение. Нами было разработано фосфатное стекло ЛФС5, не кристаллизующееся в течение 80 ч при температуре отжига, с повышенной термической и химической устойчивостью по сравнению со стеклом ГЛС32.

Активные элементы из стекла ЛФС5 предназначены для применения в импульсно-периодических лазерах различного назначения, а также в усилительных каскадах мощных лазеров. Стекло ЛФС5 характеризуется малой величиной нелинейного показателя преломления, что дает предпосылки для использования его в мощных лазерных системах.

Габариты и форма активных элементов из стекла ЛФС5 определяются конструкцией лазера и могут достигать диаметра 100 мм и длины до 1000 мм. Концентрация активатора может изменяться от 0,5 до 8 масс. % в зависимости от конфигурации активного элемента. Стекло ЛФС5 характеризуется высокой оптической однородностью ($\Delta n_d < 10^{-6}$) и малым поглощением на рабочей длине волны (не более $1 \times 10^{-3} \text{ см}^{-1}$).

В таблице приведены основные характеристики выпускаемых в мире лазерных фосфатных стекол с близкими концентрациями активатора, взятые из проспектов фирм [1], ранее выпускавшего отечественного стекла ГЛС32 и стекла ЛФС5. Анализ данных показывает, что все фосфатные стекла при равной концентрации активатора имеют близкие спектрально-люминесцентные параметры. Так, величина определяющего лазерного параметра – сечения сти-

Параметр	Россия		СССР, ИПЗ	Япония, "Hoya"	США, "Kigre"	ФРГ, "Schott"
	ЛЗОС	ГОИ*				
	ЛФС5					
Концентрация неодима $\times 10^{20}$, ион/см ³	2	3,5	2	3,03	2,9	1,4
Время затухания люминесценции, мкс	300	360	280	315	330	360
Сечение стимулированного излучения $\times 10^{-20}$, см ²	3,8	3,6	3,2	4,2	4	4
Показатель преломления при $\lambda = 1054$ нм	1,527	1,522	1,587	1,52	1,535	1,516
Нелинейный коэффициент показателя преломления $\times 10^{-13}$, см ² /В ²	1,15	1,1	1,60	1,13	1,10	1,08
Термооптическая постоянная при $\lambda = 1054$ нм $\times 10^{-7}$, К ⁻¹	5	10,0	4,5	6	33	8
Коэффициент теплопроводности, Вт/м К	0,6	—	0,5	—	0,84	0,62
Коэффициент линейного термического расширения $\times 10^{-7}$, К ⁻¹	105	116	103	127	92	114
Плотность, г/см ³	2,84	2,84	3,38	2,85	2,71	2,83

* По данным работы [5].

мулированного излучения – составляет $(3,2-4,2) \times 10^{-20}$ см². Представленные в таблице фосфатные стекла, за исключением Q88, являются атермальными. Стекло Q88 отличается повышенной теплопроводностью, что предполагает его увеличенную термостойкость. По имеющейся у нас информации фосфатные стекла зарубежных фирм варятся в платиновых тиглях. Технологическими приемами этим фирмам удалось снизить содержание платины в стекле, что привело к величинам лучевой прочности более 25 Дж/см² при импульсе длительностью 40 нс.

Объемная лучевая прочность стекла ЛФС5 в таком же режиме работы лазера составляет, как правило, около 10 Дж/см², однако стекла отдельных варок обладают лучевой прочностью до 20–30 Дж/см².

Сравнение характеристик приведенных в таблице лазерных фосфатных стекол говорит о том, что стекло ЛФС5 по комплексу параметров близко к фосфатным лазерным стеклам производства крупнейших фирм мира.

В работе [5] описана технология получения лазерного стекла в виде пластин 475×240×40 мм или стержней диаметром 30–60 мм и длиной 320 мм. Нам же предстояло решить задачу получения качественного лазерного стекла для стержневых активных элементов диаметром 45 мм и длиной до 1000 мм.

Для варки стекла ЛФС5 применялась одностадийная технология. В качестве сырьевых материалов использовались метафосфаты особой чистоты. Варка проводилась в тигле из аффинированной платины объемом 14 л в электропечи с резистивными нагревателями. Конструкция стекловаренной установки позволяла совместить в одну стадию навар fritты в тигле из плавленного кварца и варку стекла в платиновом тигле.

Специальная система осушки кислорода позволила достигать требуемого значения времени затухания люминесценции за 9 ч барботирования расплава. Для гомогенизации стекломассы использовалась лопастная мешалка, также выполненная из очищенной платины.

Отлив стекломассы производился через обогреваемый патрубок тигля в металлическую форму. Объем тигля позволял получать отливки толщиной 65 мм, что является минимальным значением для выбора заготовки под активный элемент Ø45 мм.

Ограниченный объем тигля (14 л) потребовал специальных технологических приемов для получения качественного по бессвильности стекла. При проведении опытных варок стекла ЛФС5 были отработаны оптимальные соотношения ряда технологических параметров операций барботирования, осветления, гомогенизации, а также отлива стекла.

Примененные при варке и отливе технологические приемы несмотря на малый размер варочного тигля позволили получить стекло с минимальным количеством пузырей и с бессвильностью более 50% в рабочем направлении. Поглощение на рабочей длине волны составило менее 0,001 см⁻¹, а двойное лучепреломление отожженного стекла – 2–4 нм/см.

Таким образом, на ОАО "Лыткаринский завод оптического стекла" разработано технологичное лазерное стекло на фосфатной основе ЛФС5 и освоена технология получения из него крупногабаритных активных элементов в виде стержней диаметром 45 мм и длиной до 1000 мм.

Возможно получение активных элементов и другой формы, в том числе в виде "слэбов", дисков и пластин (объем не более 5 л).

ЛИТЕРАТУРА

1. Проспекты зарубежных фирм "HOYA corporation", "SCHOTT optical glass Inc.", "Kigre Inc."
2. Авакянц Л.И., Бужинский И.М., Корягина Е.И. и др. Характеристики лазерных стекол (справочный обзор) // Квант. электрон. 1978. Т. 5. № 4. С. 725–752.
3. Боянов В.И., Бордачев Е.Г., Крыжановский В.И. и др. Стержневые усилители на фосфатном неодимовом стекле диаметром 60 мм с высоким коэффициентом усиления // Квант. электрон. 1984. Т. 11. № 2. С. 310–316.
4. Ешиметьева Е.В., Королев В.И., Меснянкина Е.П. Одномодовый одностотный лазер на стекле с импульсами излучения микросекундной длительности // Квант. электрон. 1995. Т. 22. № 9. С. 897–899.
5. Арбузов В.И., Волынкин В.М., Лунтер С.Г. и др. Крупногабаритные дисковые активные элементы из неодимового фосфатного стекла для мощных высокоэнергетических лазеров // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 5. С. 68–78.