

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
Болгарская Академия наук  
ООО «Научно исследовательское предприятие «Лазерные технологии»

# **ИННОВАТИКА-2019**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ**

**XV Международной школы-конференции студентов,  
аспирантов и молодых ученых  
25–27 апреля 2019 г.  
г. Томск, Россия**

*Под редакцией А.Н. Солдатов, С.Л. Минькова*

Scientific & Technical Translations



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**

**Томск – 2019**

# **СВАРКА СТЕКЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИНФРАКРАСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ СТРОНЦИЯ**

**Н.С. Грибанов, В.Ю. Юрин, А.Н. Солдатов**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет  
n.gribanov2015@yandex.ru*

## **LASER WELDING OF GLASS WITH INFRARED IRRADIATION OF STRONTIUM-VAPOR LASER**

**N.S. Gribanov, V. Yu. Yurin, A.N. Soldatov**

*National Research Tomsk State University*

*Laser technologies offer an opportunity to increase the quality of glass joining, because there is no any additional materials which can evaporate or embrittlement. Experiments were carried out with strontium-vapor laser. The power of irradiation was 17.6 W.*

*Keywords: Laser welding of glass, strontium-vapor laser.*

Стекло, как материал имеет большие перспективы применения в микроэлектронике, биомедицине и аэрокосмической индустрии. В связи с растущим спросом на уменьшение размеров устройств в данных индустриях, наблюдается и сокращение толщины подложек из материалов, которые используются при производстве данных устройств. Благодаря своей высокой механической прочности, гибкости, термической и химической стойкости, а также сопоставимому с распространенными полупроводниковыми материалами коэффициенту термического расширения, стекло становится все более востребованным материалом для подложек. По прогнозам Yole Development, консалтинговой компании, проводящей исследования данного рынка, ежегодные темпы роста составляют 23%, и к 2023 году общий объем достигнет 594 млн. долларов США [1].

Вследствие уменьшения толщины подложек, меняются требования к методам их обработки, в частности к способам их соединения. Традиционные методы соединения можно разделить на два типа: соединение при помощи дополнительных склеивающих материалов и соединение с использованием высоких температур (анодная сварка, соединение плавлением, пайка эвтектическим сплавом). Использование дополнительных материалов не обеспечивает полную герметичность соединения. К тому же, в условиях перепада температур существует риск изменения зазора между двумя подложками, что приводит к сокращению срока службы устройства. Использование высокотемпературных методов соединения

не подходит для термочувствительных микроэлектромеханических систем. Более того, высокие температуры разрушают многие покрытия микроэлектронных компонентов [2].

В настоящее время ведется активный поиск новых методов соединения стеклянных подложек. Одним из наиболее перспективных направлений разработок в данной области является лазерная сварка стекла. Использование лазерного излучения позволяет получить высококачественные герметичные соединения размером в несколько микрометров с локальным нагревом свариваемых материалов и без использования инородных веществ.

При производстве различных микроэлектронных компонентов используются боросиликатные стекла. Температура размягчения данных видов стекла составляет 820 градусов. На рисунке 1 представлен спектр пропускания стекла марки Borofloat 33. В диапазоне волн от 300 до 2800 нм коэффициент пропускания составляет 90%. Этот факт говорит о том, что для сварки двух стекол необходимо использовать лазер, генерирующий излучение на длине волны выше, чем верхняя точка данного диапазона.

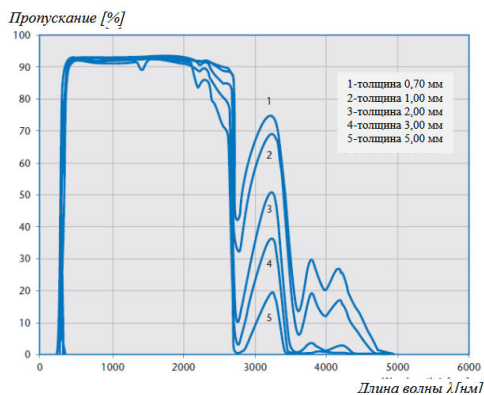


Рис. 1. Спектр пропускания стекла Borofloat 33 [2]

В Лаборатории лазерной физики и кристаллофизики ТГУ проводятся эксперименты по лазерной сварке стекла посредством инфракрасного излучения лазера на парах стронция. Из схемы уровней атома и иона стронция можно заметить, что лазер на парах Sr генерирует излучение в инфракрасном диапазоне на следующих длинах волн: 6,45; 3,06; 3,01;

2,92; 2,69; 2,6; 1,09; 1,03 мкм. Наиболее мощная линия генерации на атомах стронция  $\lambda = 6,456$  мкм находится в средней ИК-области спектра, что делает его пригодным для сварки стекла. [3]

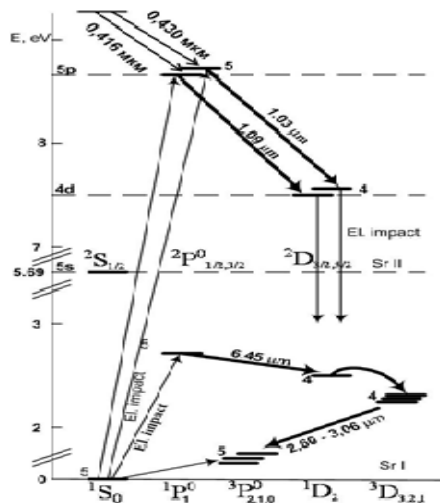


Рис. 2. Упрощенная схема уровней атома и иона стронция [3]

Для экспериментов по сварке стекла использовалась установка ГРТ 10. Данная установка лазера на парах стронция оснащена одним лазерным излучателем, обеспечивающим уровень мощности, необходимый для плавки и сварки стекла. Мощность лазерного излучения в ходе экспериментов составляла 17,6 Вт. Частота следования импульсов генерации – 18 КГц.

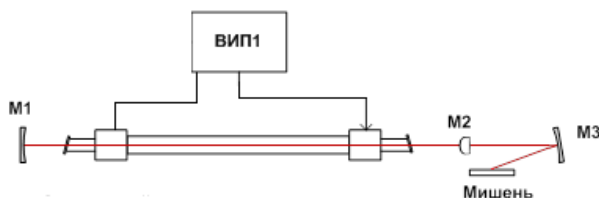


Рис. 3. Схема установки с одним лазерным излучателем (ВИП – высоковольтный источник питания задающего генератора; M1, M2 – зеркала неустойчивого резонатора; M3 сферическое зеркало)

На рисунках представлены результаты экспериментов по сварке стекла. Мощность лазерного излучения в ходе экспериментов составляла 17,6 Вт. Частота следования импульсов генерации – 18 КГц. Время воздействия лазерного излучения – 5 секунд. Глубина проплавления свариваемых образцов 1,5 мм.

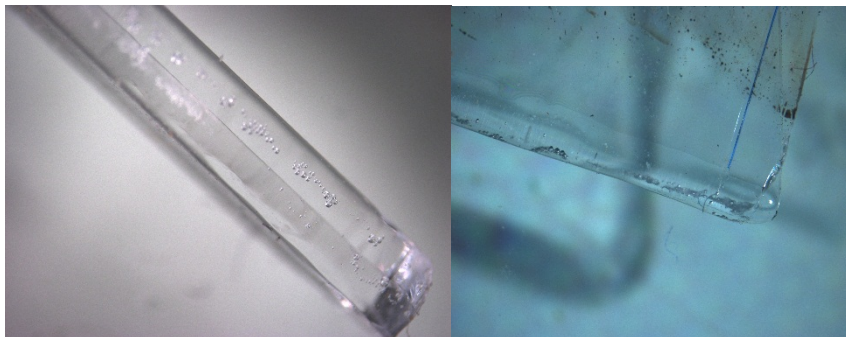


Рис. 4. Результаты экспериментов по сварке стекла лазером на парах стронция

### Литература

1. Glass Substrate Manufacturing in the Semiconductor Field report // Yole Development [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.yole.fr/GlassManufacturing\\_MarketOverview.aspx#.XK4DGtgIHU](http://www.yole.fr/GlassManufacturing_MarketOverview.aspx#.XK4DGtgIHU) (дата обращения: 15.03.2019)
2. Glass – The Material of the Future // SCHOTT Primoceler Glass Micro Bonding [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.schott.com/primoceler/hermetic-glass-bonding/> (дата обращения: 6.04.2019)
3. Солдатов А.Н. Многоволновые лазеры на парах стронция / А.Н. Солдатов, Н.А. Юдин // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. - Т. 59. – № 4. – С. 5-14