

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы  
Соколова Сергея Ивановича

### **«Двухлучевая лазерная обработка кварца для резонаторов и фотошаблонов субмикронных интегральных микросхем»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Целью диссертации является разработка моделей процессов лазерной двухлучевой обработки кристаллического кварца и кварцевого стекла, установление закономерностей лазерного раскалывания кварцевого стекла и кристаллического кварца, создание технологии двухлучевой лазерной очистки кварцевого сырья для получения кварцевых фотошаблонов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Данная тема актуальна в связи с тем, что кварц применяется при производстве приборов электронной техники, например, при изготовлении кварцевых резонаторов и фотошаблонов.

Как следует из автореферата, в диссертации представлены результаты, которые обладают достаточной степенью новизны. Автор рассматривает широкий спектр применения лазерного излучения при обработке кварца, причем автор использует два луча, излучение которых по-разному поглощается в обрабатываемом материале. Сначала с помощью лазерного излучения проводится очистка кварцевого сырья, из которого изготавливаются фотошаблоны и другие изделия, затем эти изделия подвергаются лазерному термораскалыванию, сварке и полировке. Кроме того, в автореферате представлены результаты исследования по лазерному термораскалыванию кристаллического кварца. В автореферате описаны результаты экспериментальных исследований указанных процессов, а также предложены их математические модели.

Полученные результаты позволили соискателю сделать следующие основные выводы, которые отражены в автореферате:

- определено значение длины стартового дефекта, при которой максимальные значения коэффициента интенсивности напряжений составляют  $(0,79 - 0,94) \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{м}^{1/2}$ , что больше критического значения коэффициента интенсивности, равного  $0,7 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{м}^{1/2}$ . Это позволяет гарантированно осуществлять лазерное термораскалывание кварцевого стекла;
- определено влияние анизотропии термических и упругих свойств кристалла кварца на значение механических напряжений, возникающих при

лазерном термораскалывании. Установлено, что при учете только анизотропии теплопроводности разница значений напряжения составляет 34,2 %, в случае учета только анизотропии теплового расширения разница – 46,4 %, а при учете только анизотропии упругих свойств разница величины напряжения – 62,5 % по отношению к случаю расчета величины напряжений растяжения без учета анизотропии этих свойств;

– разработан механизм удаления примесей из кварцевого сырья двухлучевой обработкой CO<sub>2</sub>-лазером и YAG-лазером за счет нагрева кварцевого сырья CO<sub>2</sub>-лазером до температуры плавления и одновременном расплавлении частиц кварца с примесями за счет преимущественного поглощения примесями излучения YAG-лазера, которое прозрачно для чистых частиц. Это позволяет снизить содержание примесей с  $(3-3,5) \cdot 10^{-4} \%$  до  $(1-1,5) \cdot 10^{-4} \%$ , а количество брака кварцевых фотошаблонов уменьшить на 12-15 %.

Результаты работы, полученные в ходе исследований опубликованы в 34 печатных работах, которые включают в себя одну монографию, статьи в различных научных журналах, рекомендованных ВАК РБ, патенты на полезные модели и способы, доклады на международных конференциях.

Считаю, что представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием и выполнена на высоком уровне, а Соколов Сергей Иванович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники. Выражаю согласие на размещение отзыва на автореферат в сети Интернет.

Кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры оптики учреждения  
образования «Гомельский государственный  
университет» им. Франциска Скорины



Н.Н. Федосенко

Подпис: *Н.Н. Федосенко*  
ЗАВЯРЮ  
Начальник аддзела кадраў  
установы адукацыі "Гомельскі дзяржаўны  
універсітэт імя Францыска Скарыны"

12.05.2023

