

## ОТЗЫВ

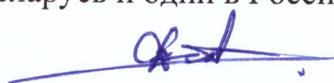
на автореферат диссертационной работы Соколова Сергея Ивановича «**Двухлучевая лазерная обработка кварца для резонаторов и фотошаблонов субмикронных интегральных микросхем**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Традиционная обработка прецизионных изделий из хрупких неметаллических материалов основана на операциях резки твердосплавным или алмазным инструментом, шлифования и доводки кромок алмазно-абразивным инструментом (а в ряде случаев механического полирования кромок) и не обеспечивают на современном этапе необходимые параметры размерных структур электронной техники. В этих условиях актуальна задача поиска и разработки новых эффективных методов обработки таких материалов, которые должны удовлетворять постоянно растущим требованиям к качеству, конструкционным и эксплуатационным параметрам, а также обеспечивать массовость и всевозрастающую номенклатуру их выпуска. Технологии лазерной обработки кристаллических кварцевых материалов нашли широкое применение в производстве изделий для микроэлектроники. Однако для получения эффективных технологических решений необходимо оптимизировать режимы для конкретных процессов и материалов, установить взаимосвязь между большим количеством факторов (свойства материала, спектральные и геометрические параметры лазерного пучка, скорость относительного перемещения материала и лазерного пучка, дополнительные воздействия на материал и т.д.). Поэтому диссертационная работа актуальна и соответствует заявленной научной специальности.

Диссертационная работа посвящена установлению закономерностей лазерного термораскалывания термостойкого кварцевого стекла и кристаллического кварца, используемых при изготовлении подложек фотошаблонов и кварцевых резонаторов, разработке моделей и исследованию механизма удаления примесей из кварцевого сырья при двухлучевой лазерной обработке. Проведены экспериментальные исследования режимов лазерной обработки кварца с применением современного, в том числе экспериментального микропроцессорного оборудования лазерной обработки с комбинированной сферико-цилиндрической оптикой для получения эллиптической формы пучка. Получены обоснованные значения плотности мощности излучения при удалении примесей из кварцевого сырья, оптимальные величины удельного энергозатрата для получения необходимой глубины микротрещины, значения скорости реза и мощности лазера для термораскалывания при различных направлениях сканирования относительно главной оптической оси кристалла кварца.

Предложенные и реализованные технологические методы позволили увеличить скорость термораскалывания на 20–30 %, и увеличить процент выхода годных фотошаблонов на 12–15 %. Эти результаты оказали положительное влияние на применение кварцевых резонаторов и фотошаблонов для производства субмикронных интегральных микросхем. Решение задачи потребовало применения современных представлений в области теплопроводности и термоупругости применительно к моделированию двухлучевой лазерной обработки кварца, а также проведения комплекса экспериментов с применением современных методов и технических средств исследования, включая оптические и тепловизионные методы.

К достоинствам диссертации следует отнести также многостороннюю апробацию путем докладов на научно-технических конференциях, публикации материалов в рецензируемых научных изданиях, патентования полезных моделей и изобретений. Общий объем публикаций по теме диссертации составил 34 печатных работы, в том числе 13 патентов (12 в Республики Беларусь и один в Российской Федерации).



Особую ценность и практическую значимость имеет также внедрение результатов в производство, а также в учебный процесс УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Считаем, что заявленные в работе задачи успешно решены, а цель исследования достигнута.

Вместе с тем, в тексте автореферата имеется ряд неточностей:

1) В 3-м абзаце на стр. 10 (как и в п.3 Заключения) приведены параметры двухлучевой суперпозиционной лазерной *сварки* по пяти исследуемым факторам, однако в предыдущем, 2-м абзаце упоминается полный факторный эксперимент двухлучевой лазерной *полировки* кварцевого стекла (с теми же пятью факторами). При этом далее, на стр. 11 оптимизация лазерной полировки выполнена для трех факторов.

2) В п.3 научной новизны (стр. 3) и в первом абзаце стр.9 присутствует фраза «...в случае учета только анизотропии *теплого* расширения ...», корректным является термин «*теплового* расширения».

3) Приведение изложения значений физических величин к единицам СИ без использования кратных и дольных приставок (чего никак не ограничивает, а даже рекомендует стандарт ГОСТ 8.417-2002) привело к некоторым казусным ситуациям, а именно:

– на стр. 12 в 10-й строке сверху габаритные размеры кристаллического кварца указаны как  $20 \times 10 \times 1,5 \cdot 10^{-3}$  м, что может читаться неоднозначно – например, как отнесение множителя  $10^{-3}$  только к последнему значению; если запись  $20 \times 10 \times 1,5$  мм считается недопустимой, тогда выражение  $20 \times 10 \times 1,5$  надо записывать в скобках;

– уравнения (1) и (2) регрессионной модели корректны для значений радиуса пучка и скорости обработки, выраженных в единицах СИ как раз с дольными приставками (в миллиметрах и в миллиметрах в секунду, соответственно).

Данные замечания не имеют принципиального характера и не влияют на итоговую оценку значимости проведенных исследований.

Таким образом, новые результаты, полученные автором, соответствуют целям и задачам исследования, имеют научную новизну и практическую значимость, прошли необходимую апробацию на научных конференциях, в достаточной мере опубликованы, внедрены в производство и в учебный процесс. Положения, выносимые на защиту, а также общие выводы по работе соответствуют названию, целям, задачам и основному содержанию автореферата. Считаем, что автор диссертационной работы Соколов Сергей Иванович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Заведующий кафедрой «Электронные вычислительные машины и системы»  
Учреждения образования «Брестский государственный технический университет»,  
доцент, кандидат технических наук (05.27.01)

С.С. Дереченник

Доцент кафедры «Электронные вычислительные машины и системы»  
Учреждения образования «Брестский государственный технический университет»,  
кандидат технических наук (05.27.01)

В.В.Буслюк

