

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЯ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ В ПЛОСКОСТИ {111} В РАМКАХ ЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

Благодаря удачному сочетанию свойств арсенид галлия занимает одно из лидирующих мест по своему значению в современной электронной технике. Арсенид галлия имеет неплохие теплофизические характеристики, достаточно большую ширину запрещенной зоны, высокую подвижность электронов, благоприятные особенности зонной структуры, обуславливающие возможность прямых межзонных переходов носителей заряда. Разработаны технологии получения материала с хорошими изолирующими свойствами и высокой прозрачностью в инфракрасной области спектра [1]. Арсенид галлия обладает более высокой подвижностью электронов, которая позволяет приборам работать на частотах до 250 ГГц. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия генерируют меньше шума, чем кремниевые приборы на той же частоте. Из-за более высокой напряженности электрического поля пробоя в арсениде галлия по сравнению с кремнием приборы из арсенида галлия могут работать при большей мощности. Эти свойства делают арсенид галлия широко используемым в полупроводниковых лазерах, некоторых радарных системах [2, с. 1].

Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия имеют более высокую радиационную стойкость, чем кремниевые, что обуславливает их использование в условиях радиационного излучения (например, в солнечных батареях, работающих в космосе).

Важнейшей задачей при производстве приборов на основе арсенида галлия является качественное разделение пластин, вырезанных в какой либо кристаллографической плоскостях на элементы. Одним из наиболее эффективных методов высокоточного разделения хрупких неметаллических материалов является управляемое лазерное термораскалывание, отличительная особенность которого заключается в том, что разделение материала на части заданной формы происходит вследствие образования трещины, формируемой в результате поверхностного нагрева материала лазерным излучением и последующего охлаждения зоны нагрева хладагентом [3]. В работе [4] авторами в рамках теорий термоупругости и линейной механики разрушения на основе разработанного алгоритма выполнено трехмерное конечно-элементное моделирование процесса развития лазерно-индуцированной трещины в силикатных стеклах при двулучевом лазерном управляемом термораскалывании. Определен профиль трещины и ее глубина при различных параметрах обработки, хорошо согласующиеся с результатами экспериментальных исследований.

В связи с этим представляется целесообразным проведение трехмерного моделирования процесса управляемого лазерного термораскалывания кристаллического арсенида галлия, вырезанного в плоскости {111} на основе разработанного в работе [4] алгоритма, с целью последующей оптимизации технологических режимов обработки на эксперименте.

Арсенид галлия относится к числу разлагающихся соединений. Начиная с 600 °С, разлагается с выделением мышьяка [5]. Поэтому режимы обработки были выбраны такими, чтобы температура материала не превышала 600 °С. Согласно [6] условия разрушения можно представить одним параметром, в качестве которого можно использовать коэффициент интенсивности напряжений  $K_I$ . При этом необходимыми условиями роста трещины являются следующие: напряжения в вершине трещины должны быть растягивающими; коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины должен превышать критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{IC}$  (для силикатного стекла  $K_{IC}=0,45 \text{ МПа м}^{1/2}$ ) [7]. С учетом этих условий было выполнено моделирование процесса управляемого лазерного термораскалывания, при котором выполнялись расчеты коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  в вершинах лазерно-

индуцированной трещины для определения динамики ее развития. Расчеты были выполнены с использованием метода конечных элементов.

В качестве образца выбраны пластины с геометрическими размерами 40x30x0,2 и 40x30x1 мм. Теплофизические свойства материала были выбраны следующие: плотность – 5320 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность – 55 Вт/(м·К), удельная теплоемкость – 330 Дж/(кг·К), коэффициент линейного расширения – 5,73·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>, коэффициент Пуассона – 0,3 [8; 9]. Согласно [10], для кристаллов, относящихся к кубической системе, упругие свойства пластины вырезанной в плоскости {111} изотропны, поэтому модуль Юнга был выбран равным 144·ГПа [7, с. 3]. В качестве источника излучения использован лазер с длиной волны 0,808 мкм энергия которого эффективно поглощается в поверхностных слоях. Диаметр лазерного пучка 3 мм, хладагента 6 мм, расстояние между их центрами 5 мм. Анализ проведен для скорости обработки 10 мм/с при плотности мощности излучения 3,8 Вт/м<sup>2</sup>. В области подачи хладагента задается теплоотдача с коэффициентом равным 6800 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

На рисунке 1 (а) представлены расчетные значения коэффициента интенсивности напряжений  $K_I$  в вершинах трещины на поверхности образца со стороны обработки от времени  $t$ . Кривая 1 (сплошная линия) соответствует пластинке толщиной 0,2 мм, кривая 2 (штриховая линия) – пластинке толщиной 1 мм. На рисунке 1 (б) представлены аналогичные кривые для обратной стороны пластинки, а на рисунках 2 (а) и 2 (б) расчетные значения упругих напряжений  $\sigma_{22}$  в вершинах трещины от времени  $t$ .

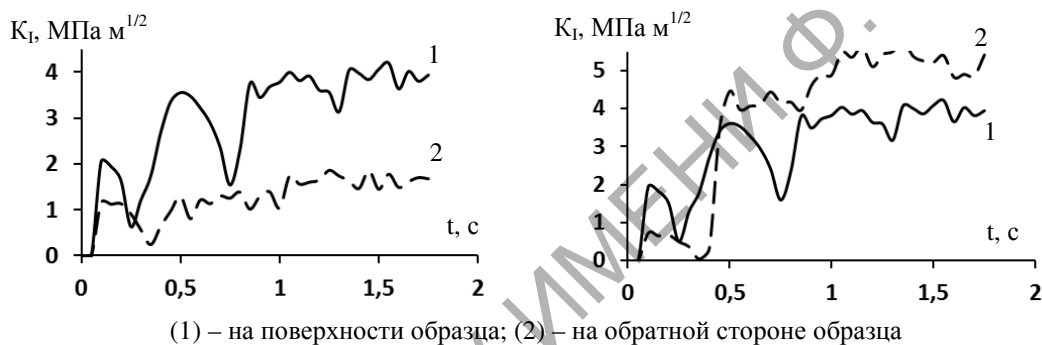


Рисунок 1 – Расчетные значения коэффициентов интенсивности напряжений  $K_I$  в вершинах трещины от времени обработки  $t$ : а) – при обработке пластины толщиной 0,2 мм, б) – при обработке пластины толщиной 1 мм

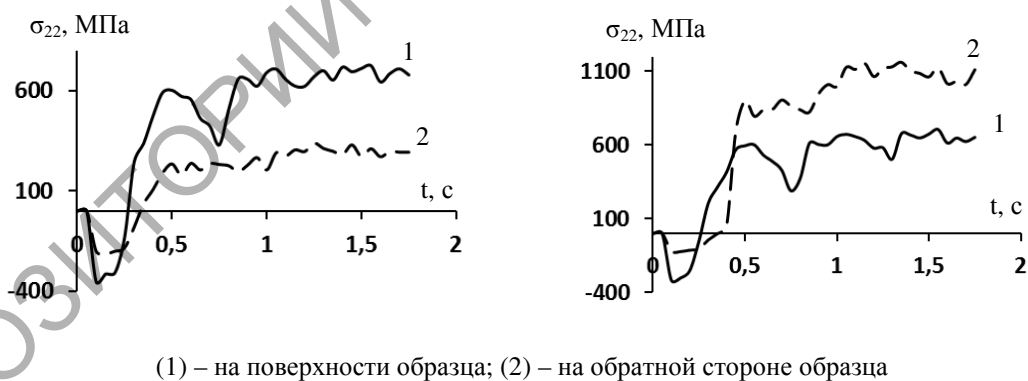


Рисунок 2 – Расчетные значения упругих напряжений  $\sigma_{22}$  в вершинах трещины от времени обработки  $t$ : а) – при обработке пластины толщиной 0,2 мм, б) – при обработке пластины толщиной 1 мм

По расчетным данным максимальная температура арсенида галлия в области воздействия лазерного пучка составляет 590 °С для пластинки толщиной 0,2 мм и 160°С для пластинки толщиной 1 мм. В промежуток времени от 0 до 0,3 секунды движения лазерного пучка и хладагента вершина стартовой трещины на поверхности образца подвергается воздействию лазерного излучения и во всех узлах фронта трещины по всей толщине образца формируются значительные по величине сжимающие напряжения. При этом роста трещины не происходит. Далее вершина трещины попадает в область воздействия хладагента, происходит резкое охлаждение поверхности материала и напряжения становятся растягивающими, и уже в момент времени 0,4 секунды

коэффициент интенсивности напряжений в этой вершине достигает критического значения. Трещина на поверхности образца начинает развитие вдоль линии обработки. При этом коэффициент интенсивности напряжений выше критического одновременно по всей толщине материала, что свидетельствует об образовании сквозной разделяющей трещины.

На рисунке 3 представлены расчетные значения координат  $X$  вершины сквозной трещины от времени обработки для пластин толщиной 0,2 и 1 мм.

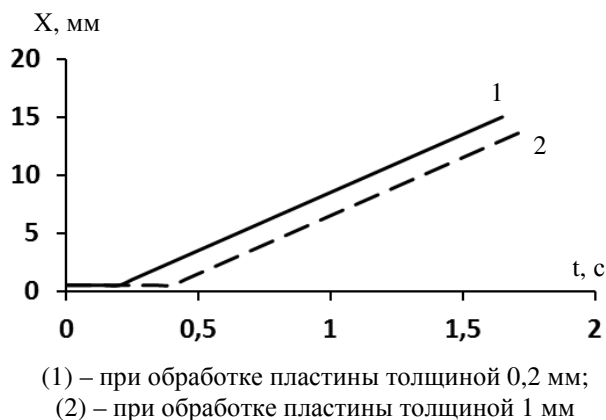


Рисунок 3 – Расчетные значения координат  $X$  вершины сквозной трещины от времени обработки  $t$

Таким образом, результаты моделирования показывают, что разделение пластин кристаллического арсенида галлия методом управляемого лазерного термораскалывания осуществимо при температурах на поверхности образца менее 600 °С. Разработанный алгоритм моделирования позволяет моделировать процесс управляемого лазерного термораскалывания и, варьируя параметры лазерных пучков и хладагента, скорость обработки, геометрические размеры образца и вид конечно-элементной сетки получать информацию о профиле разделяющей трещины.

#### Список использованных источников

- 1 Галлия арсенид [Электронный ресурс] / Мега энциклопедия Кирилла и Мефодия : энциклопедический мультимедийный интернет-ресурс – Режим доступа : <http://megabook.ru/article/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B8%D1%8F%20%D0%90%D1%80%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B4>. – Дата доступа : 20.03.2015.
- 2 Кузнецов, П. М. Исследование поверхности кристаллов GaAs, подвергнутых термическому воздействию / П. М. Кузнецов, М. В. Бойцова, М. В. Озерова // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 155–157.
- 3 Способ резки неметаллических материалов : пат. 2024441 Рос. Федерация, МПК5 С 03 В 33/02 № 5030537/33 // В. С. Кондратенко. – Заявл. 02.04.92 ; опубл. 15.12.94.
- 4 Шалупаев, С. В. Моделирование процесса двулучевого лазерного термораскалывания силикатных стекол в рамках линейной механики разрушения / С. В. Шалупаев, А. Н. Сердюков, Ю. В. Никитюк, А. А. Середа // Проблемы физики, математики и техники. – 2013. – № 2. – С. 29–34.
- 5 Гольдаде, В. А. Материалы электронной техники : курс лекций [Электронный ресурс] / В. А. Гольдаде // Электронные документы ГГУ имени Ф.Скорины. – Режим доступа : [http://docs.gsu.by/DocLib8/Учебные20пособия/Материалы20электронной%20техники/13.%20Гл.11.Полупров\\_А3В5.doc](http://docs.gsu.by/DocLib8/Учебные20пособия/Материалы20электронной%20техники/13.%20Гл.11.Полупров_А3В5.doc). – Дата доступа : 25.03.2015.
- 6 Сиратори, М. Вычислительная механика разрушения / М. Сиратори, Т. Миеси, Х. Мацусита : пер. с японск. – М. : Мир, 1986. – 334 с.
- 7 Chen, C. P. Fracture mechanics evaluation of GaAs / C. P. Chen // Final report Jet propulsion laboratory. – Pasadena : California, 1984. – P. 63.
- 8 GaAs – Gallium Arsenide: Basic Parameters [Электронный ресурс] / Официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН» – Режим доступа : <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond.html>. – Дата доступа : 06.04.2015.
- 9 GaAs – Gallium Arsenide: Thermal properties [Электронный ресурс] / Официальный сайт Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН» – Режим доступа : <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaAs/thermal.html>. – Дата доступа : 06.04.2015.

10 Концевой, Ю. А. Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур / Ю. А. Концевой, Ю. М. Литвинов, Э. А. Фаттахов. – М. : Радио и связь, 1982. – 240 с.