

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ ПЛАСТИНЫ GaAs, ПОДВЕРГНУТОЙ ЛАЗЕРНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

© М.В. Бойцова

Ключевые слова: модель; плавление; уравнение теплопроводности.

Статья посвящена изучению процесса плавления образцов GaAs при воздействии лазерного излучения.

Несмотря на то, что в настоящее время основная масса дискретных полупроводниковых приборов и интегральных схем изготавливается на основе кремния (Si), большое количество научных исследований и публикаций в области полупроводников и полупроводниковых приборов посвящено исследованию арсенид-галлиевых (GaAs) соединений. Это обстоятельство связано, во-первых, с тем, что приборы на основе GaAs являются гораздо более быстродействующими, особенно при малых размерах образцов, и, во-вторых, на основе этих соединений имеется возможность создавать квантоворазмерные полупроводниковые структуры, которые обладают, в принципе, еще более высоким быстродействием. Приборы и интегральные схемы на GaAs служат элементной базой для сверхскоростной и СВЧ-электроники. Для дальнейшего усовершенствования таких приборов и улучшения их характеристик необходимо проведение большого объема как теоретических, так и экспериментальных исследований. Хорошо известно, что численное моделирование позволяет сократить материальные затраты, связанные с этим.

Цель работы: определить распределение температуры по времени и глубине образца GaAs, подвергнутого лазерному облучению, используя методы компьютерного моделирования.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Практические исследования проводились на пластине кристалла GaAs, толщиной $d = 0,95$ мм. Облучение образцов осуществляли лазерным источником с активным элементом на основе иттрий-алюминиевого граната, легированного неодимом (Nd:YAG), с длиной волны 1,064 мкм. Характерный размер лазерного пятна не превышал 0,32–0,6 мм. Энергия импульса лазерного излучения варьировалась в пределах от 0,35–2 Дж. Моделирование производилось в среде Comsol Multiphysics 4.3b. Все входящие параметры оставались реальными.

Используемая в программе система уравнений выглядит следующим образом:

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla(k \nabla T) \text{ – уравнение теплопроводности;}$$

$$h = \begin{cases} \int c dT, T \leq T_m \\ \int c dT + (1 - f_s) \Delta h_f, T = T_m \\ \int c dT + \Delta h_f, T > T_m \end{cases}$$

где h – энтальпия; k – коэффициент теплопроводности; T – температура; c – удельная теплоемкость; T_m – температура плавления; f_s – твердая часть системы

$$(f_s = \frac{T_{liq} - T}{T_{liq} - T_{sol}}).$$

Общее аналитическое решение данной задачи является сложным и до сих пор не решенным, поэтому в таких исследованиях часто прибегают к численному интегрированию.

Численные значения параметров GaAs, используемые в расчетах:

$\alpha, \text{см}^{-1}$	$0,799 \cdot 10^5$
$\rho, \text{г/см}^3$	5,316
$C, \text{Дж/(г·К)}$	0,350
$k, \text{Вт/(см·К)}$	0,4605

РЕЗУЛЬТАТЫ

В предыдущих работах [1–3] были получены интересные экспериментальные данные по воздействию лазерного излучения на образцы GaAs, в связи с чем возникла необходимость компьютерного моделирования происходящих в них процессов.

В ходе компьютерного моделирования были получены следующие зависимости, представленные на рис. 1–3.

Результат моделирования представлен на рис. 1. Видно, что начало плавления лицевой поверхности происходит через ~0,1 мс после начала облучения. Максимальная температура достигается через ~2,3 мс после начала облучения и составляет около 2500 К. Далее происходит остывание образца до температуры плавления ($T_{пл} = 1238$ °С.) за ~2,5 мс после начала облучения. Процесс кристаллизации происходит за

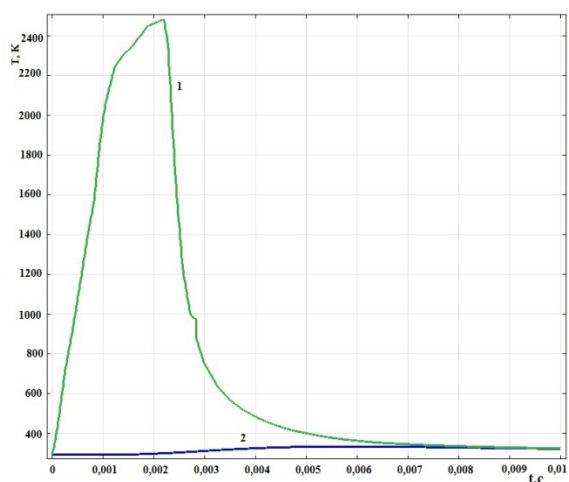


Рис. 1. Зависимость температуры в центре кратера от времени на пластине GaAs: 1 – лицевая, 2 – обратная сторона

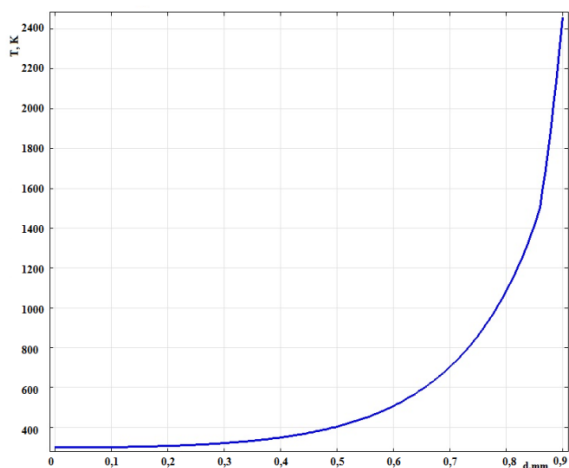


Рис. 2. Зависимость распределения температуры от нижнего края пластины GaAs к верхнему

время $\sim 0,7$ мс. Температура на лицевой стороне немного превышает температуру плавления (кривая 1), в то время как температура на обратной стороне (кривая 2) не достигает температуры плавления.

На рис. 2 показано распределение температуры внутри образца GaAs при воздействии лазерного импульса длительностью $\tau = 10^{-3}$ с.

Из рис. 3 видно, что воздействие лазерного излучения приводит к пространственно неоднородному нагреву вещества и вызывает процессы теплопереноса между различными участками среды.

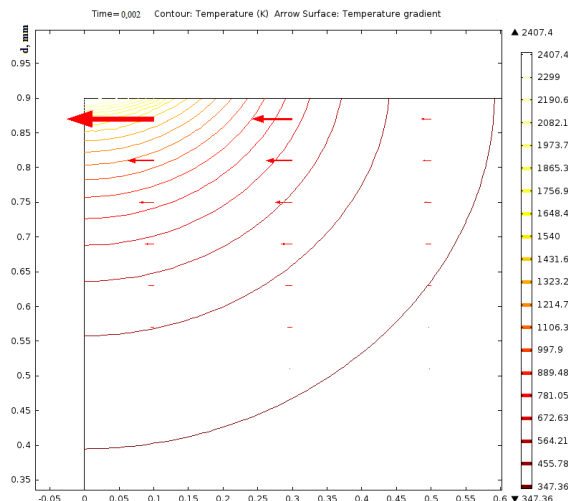


Рис. 3. Градиент температуры вглубь образца GaAs. Стрелками указано направление теплового потока

ВЫВОДЫ

1. Полученные ранее экспериментальные данные по плавлению образцов GaAs подтверждены математической моделью.
2. Удалось построить градиент температуры внутри образца и оценить время его остывания до температуры плавления ($\sim 2,5$ мс).
3. Оценка распределения температуры в приповерхностной области материала после воздействия одного лазерного импульса показывает, что значительное изменение температуры наблюдается на глубине материала вплоть до нескольких сотен микрометров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Feodorov V.A., Kuznetsov P.M., Boitsova M.V., Jakovlev A.V. Action of laser radiation on crystals of gallium arsenide // *Materials Physics and Mechanics*. 2012. V. 13. № 1. P. 48-50.
2. Федоров В.А., Кузнецов П.М., Бойцова М.В., Скороходов П.А., Агапов А.Н. Морфологические особенности поверхности GaAs, обусловленные лазерным и термическим воздействием // *Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки*. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 1. С. 128-130.
3. Кузнецов П.М., Бойцова М.В., Озерова М.В. Исследование поверхности кристаллов GaAs, подвергнутых термическому воздействию // *Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки*. Тамбов, 2013. Т. 18. Вып. 1. С. 155-158.

Поступила в редакцию 20 ноября 2013 г.

Boitsova M.V. SIMULATION OF MELTING PLATE GaAs SUBJECTED TO LASER EXPOSURE

The article is devoted to the study of the melting process of GaAs samples exposed to laser radiation.

Key words: model; melting; heat equation.

Бойцова Маргарита Викторовна, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика» института математики, физики и информатики, e-mail: MVBoitsova@mail.ru

Boitsova Margarita Viktorovna, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Candidate for Master's Degree of Direction of Preparation of "Applied Mathematics and Informatics" of Mathematics, Physics and Informatics Institute, e-mail: MVBoitsova@mail.ru