

Импульсный отжиг слоёв кремния с примесями индия и мышьяка: Моделирование и эксперимент

*Р.И. Баталов, В.В. Базаров (КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)
И.М. Подлесных (ФИАН, Москва), Д.Д. Зайцев (ТПУ, Томск)
E-mail: batalov@kfti.knc.ru*

Аннотация.

Создание слоёв Si с наночастицами узкозонных соединений АЗВ5 (InAs, InSb) представляет интерес с точки зрения расширения области оптического поглощения и фотоотклика Si на ближнюю и среднюю ИК-область ($\lambda=1-6$ мкм). Удобным методом создания таких структур является ионно-лучевой синтез, включающий высокодозную ионную имплантацию и термический отжиг. Импульсный ионный отжиг может быть альтернативой печному отжигу. В данной работе проводилось двумерное моделирование импульсного нагрева системы a-Si/c-Si мощным ионным пучком для предсказания температурных полей. Также проводился синтез фазы InAs в матрице Si с помощью последовательной ионной имплантации с различным отжигом. Получены расчетные данные по распределению температуры по площади пучка и глубине Si. Также получены данные по морфологии поверхности образцов и глубинному распределению примесей In и As в Si, прошедших твердофазный и жидкофазный режимы отжига. Установлено накопление In вблизи поверхности (сегрегация) и глубокая диффузия As после жидкофазного режима отжига. Твердофазный режим отжига приводил к небольшому перераспределению примесей.

Детали эксперимента

Методы получения образцов Si-InAs:

- 1) Последовательная ионная имплантация p-Si(111) ← In⁺(30 кэВ/(2-4)e16) ← As⁺(25 кэВ/(2-4)e16)
- 2) Импульсная ионная обработка (ИИО, ТЕМП-2) C⁺(80%)/H⁺(20%) E=300 кэВ, 100 нс, W=1.0 Дж/см²
- 3) Термический отжиг (ТО): 800-1000 °С/30мин, N₂

Методы исследования образцов Si-InAs:

- 1) 2D-моделирование импульсного нагрева структуры a-Si/c-Si при ИИО (Comsol Multiphysics)

$$\rho C_p \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial t} = \lambda \left[\frac{1}{r} \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T(r, z, t)}{\partial z^2} \right] + Q(r, z, t)$$

- 2) Моделирование глубинных профилей, в т.ч. с учётом распыления (SRIM)
- 3) Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ)
- 4) Вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС)

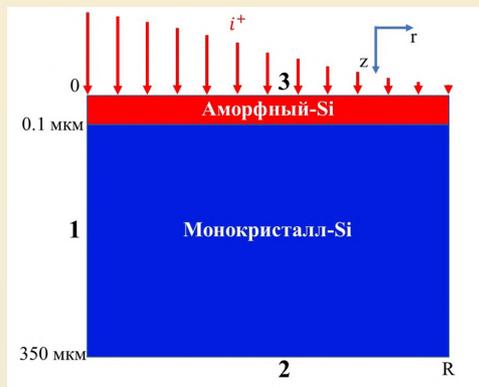


Рис. 1. Схематическое изображение объекта моделирования a-Si/c-Si при импульсном нагреве

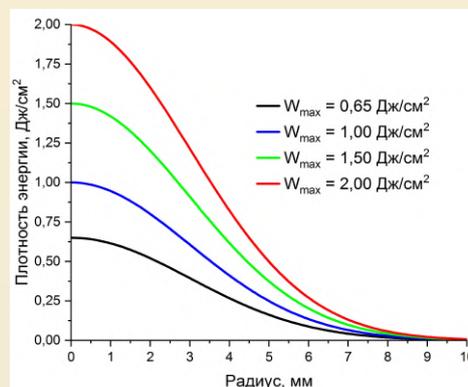


Рис. 2. Гауссово распределение плотности энергии ионного импульса по радиусу пучка.

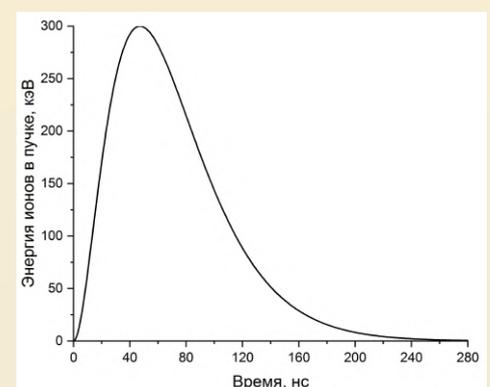


Рис. 3. Временная зависимость энергии ионов в пучке.

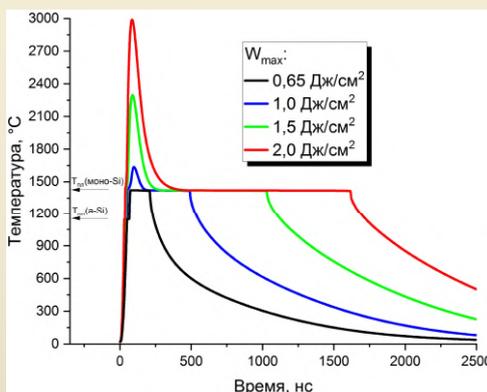


Рис. 4. Зависимость максимальной температуры на поверхности Si в центре ионного пучка ($r = 0$) от времени для различных плотностей энергии.

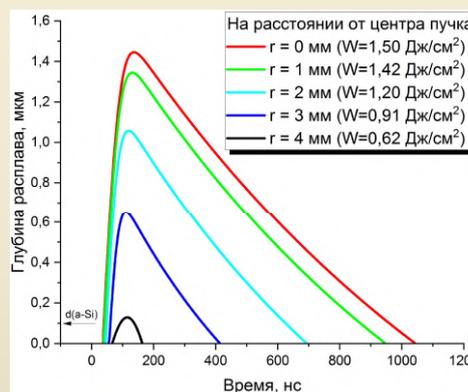


Рис. 6. Зависимость глубины расплава Si от времени на различных расстояниях от центра пучка при $W=1.5$ Дж/см².

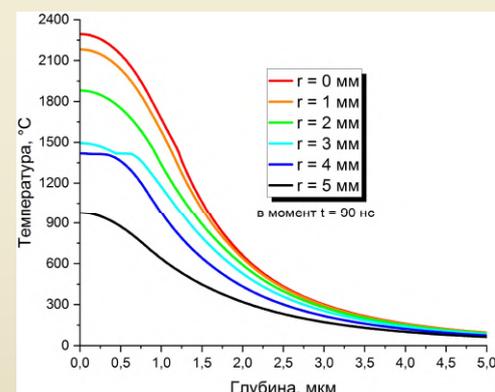


Рис. 7. Профиль температуры по глубине Si в различных точках образца удаленных от центра пучка в момент времени 90 нс при $W = 1.5$ Дж/см².

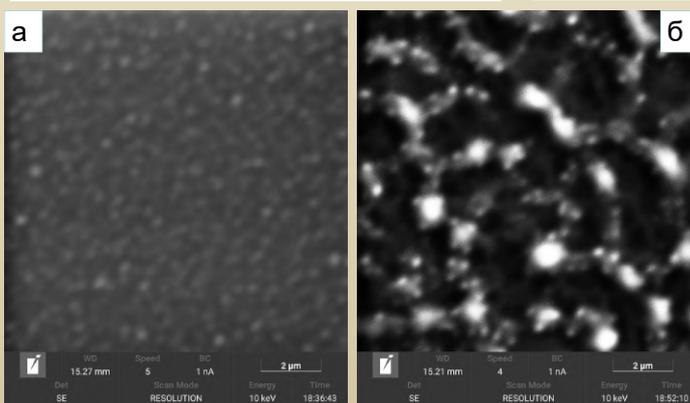


Рис. 7. СЭМ-изображения поверхности образцов Si:(In+As) после ТО (800 °С) (а) и ИИО ($W = 1.0$ Дж/см²) (б).

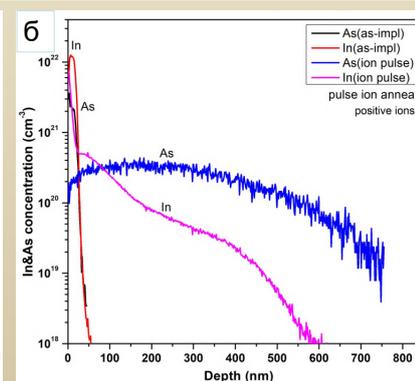
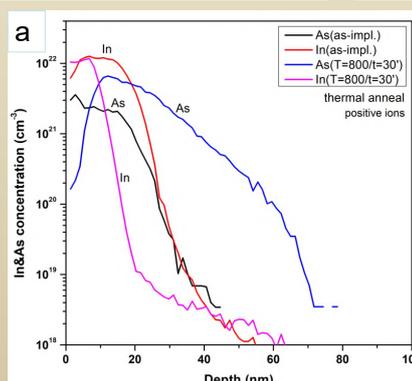


Рис. 8. Профили концентрации примесей In и As в Si после ТО (800 °С) (а) и ИИО ($W = 1.0$ Дж/см²).