



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ДИФРАКЦИЕЙ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ТВЕРДОФАЗНОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В Si(111) ИМПЛАНТИРОВАННОМ ИОНАМИ P⁺

Б.Ф. Фаррахов, Я.В. Фаттахов

52-я Международная Тулиновская конференция по Физике Взаимодействия Заряженных Частиц с Кристаллами, 2023

e-mail: bulat_f@mail.ru

Из анализа и обработки дифракционных сигналов, полученных при зондировании имплантированных периодических структур Si He-Ne лазером ($\lambda=0.6328$ мкм) во время импульсного светового отжига, определена энергия активации процесса твердофазной рекристаллизации E_a , которая составила 2.3 эВ. В работе применялась разработанная ранее оптическая дифракционная методика изучения динамики фазовых переходов и температуры.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы пластин монокристаллического Si КДБ-1 с ориентацией поверхности (111). Ионная имплантация образцов через сетку проводилась в камере ионно-лучевого ускорителя ИЛУ-3 в вакууме не хуже 10^{-5} мм.рт.ст. Имплантация проводилась ионами фосфора P⁺ энергиями 25, 50 кэВ и дозой 3.12×10^{15} см⁻². Так формировалась амплитудная дифракционная решетка с периодом 50 мкм. Фазовая дифракционная решетка с периодом $d=4$ мкм, на поверхности пластины кремния, для регистрации температуры формировалась ИИ с применением фотолитографии и травлением кислотой HF. Образцы зондировались по нормали к поверхности He-Ne лазером на длине волны 0.6328 мкм. ИСО проводился на установке УОЛ.П-1, излучением Хе ламп вспышек и на Импульс-6, излучением галогенных ламп накаливания различными плотностями мощности излучения и длительности. Сигнал интенсивности первого дифракционного максимума от амплитудной решетки регистрировался ФЭУ-84 и ФД-7К, отклонение дифракционного максимума 5 го порядка от фазовой решетки регистрировалось фотокамерой Casio ex-f1.

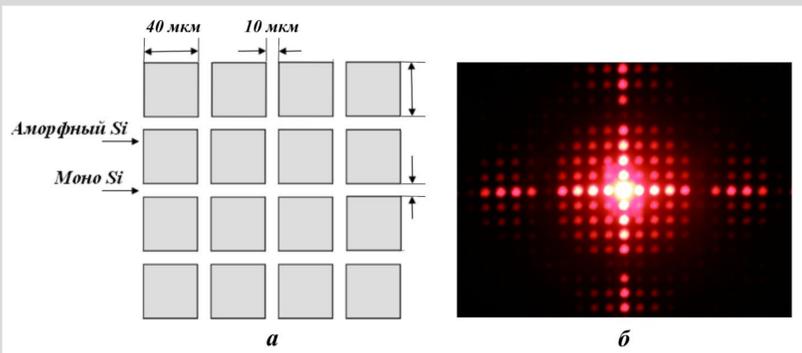


Рис. 1. Структура амплитудной дифракционной решетки на поверхности образца (а) и дифракционная картина (б), полученная при зондировании данной решетки He-Ne лазером ($\lambda=0.6328$ мкм).

$$E_a = kT(W_0, t) \ln\left(\frac{V_0}{V_p}\right)$$

где $V_0 = 1.55 \times 10^4$ мкс⁻¹ – скорость рекристаллизации аморфного Si при $T \rightarrow \infty$, $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Дж×К⁻¹ – постоянная Больцмана, $T(W_0, t)$ – температура образца, W_0 – плотность мощности светового импульса, t – время, V_0 – скорость TP.

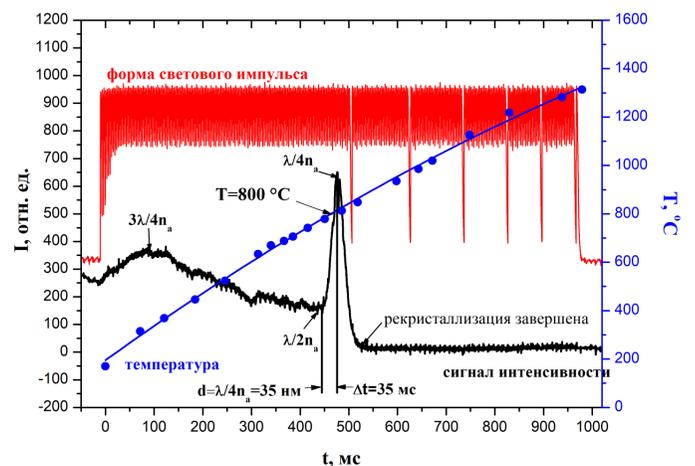


Рис. 3. Сигнал интенсивности первого дифракционного максимума, полученный на ФЭУ при облучении импульсом длительностью 970 мс и плотностью мощности 140 Вт×см⁻² и динамика температуры. Образец: Si (111), имплантированный ионами P⁺ с энергией 50 кэВ и дозой 3.12×10^{15} см⁻². Из отношения расстояния между пиками (минимумами) и временем находится скорость рекристаллизации $V_p = d/\Delta t$. Для нахождения E_a , V_p подставляется в уравнение Аррениуса.

Таблица 1. Энергия активации процесса твердофазной рекристаллизации в Si для различных образцов и различных режимов импульсного светового отжига (доза имплантации 3.12×10^{15} см⁻²).

$E_{импл}$, эВ	W_0 , Вт×см ⁻²	V_p , $\times 10^{-6}$ мкс ⁻¹	T, °C (K)	E_a , эВ
25	140	1.6	910 (1183)	2.35
25	530	44	1030 (1303)	2.21
50	140	1	800 (1073)	2.17
50	530	37.2	1180 (1453)	2.5

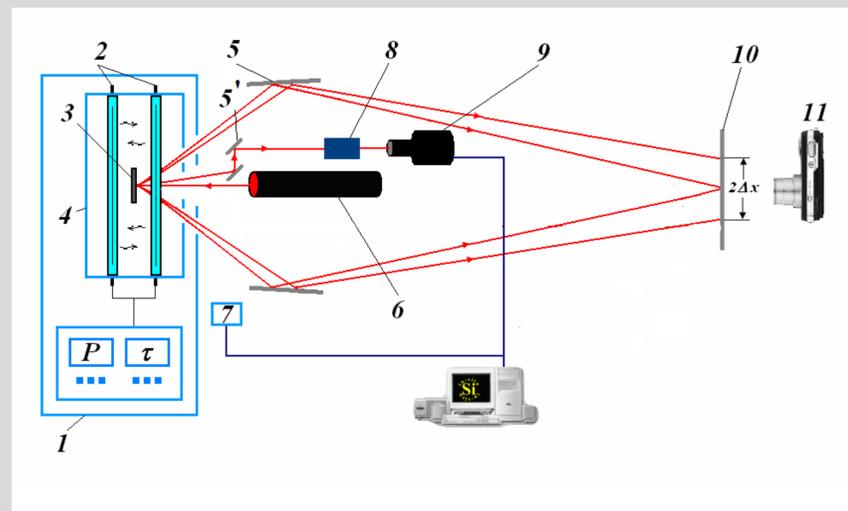


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для одновременной лазерной диагностики твердых тел при импульсном световом облучении. 1 – УОЛ.П-1; 2 – ксеноновые лампы вспышки; 3 – образец; 4 – реакционная камера; 5, 5' – отражательные зеркала; 6 – He-Ne лазер ЛГН-111 ($\lambda=0.6328$ мкм); 7 – фотодиод ФД-7; 8 – светофильтры; 9 – ФЭУ-84; 10 – экран из матового стекла; 11 – высокоскоростная цифровая камера Casio EX-F1.