

## Светопоглощающие свойства кремния, пересыщенного селеном, формируемого импульсной лазерной обработкой имплантированных слоёв

Г.Д. Ивлев, Ф.Ф. Комаров, И.Н. Пархоменко, Л.А. Власукова,  
И.Н. Кольчевская

Белорусский государственный университет, Минск  
E-mail: ivlev@bsu.by, parkhomenko@bsu.by

Как известно, рабочий диапазон кремниевых фотодетекторов ограничен областью до 1100 нм. Для расширения спектрального диапазона в ИК область в настоящее время перспективным подходом считается создание кремниевых слоев, пересыщенных халькогенами. В настоящей работе исследованы оптические свойства слоев кремния, пересыщенных селеном, формируемых ионной имплантацией с последующим импульсным лазерным отжигом. Рассмотрено влияние дозы имплантации селена, а также эффект комбинированного воздействия милли- и наносекундных импульсов излучения рубинового лазера на поглощающие свойства сформированных кремниевых слоев в ИК области спектра.

Экспериментальные образцы, вырезанные из подложек Si (111) *p*-типа, имплантировались при комнатной температуре ионами Se<sup>+</sup> с энергией 125 кэВ дозами  $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$  и  $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . Импульсная лазерная обработка (ИЛО) имплантированных слоев (a-Si:Se) проводилась с оптической диагностикой *in situ* инициируемых ИЛО фазовых превращений. ИЛО производилась наносекундным излучением (НИ) рубинового лазера (0,69 мкм) при длительности импульса 75 нс и плотности энергии  $W = 2 \text{ Дж/см}^2$ . Также был апробирован комбинированный отжиг – совокупным воздействием НИ отмеченного лазера и миллисекундного излучения (МИ) второго рубинового лазера, работавшего в режиме свободной генерации ( $W = 20 \text{ Дж/см}^2$ ). Была реализована синхронизация импульсов: НИ испускался через ~0,3 мс от начала МИ, когда достигалась максимальная температура поверхности образца вследствие нагрева миллисекундным излучением. Время жизни расплава определялось по осциллограммам отражения зондирующего излучения (ЗИ) с  $\lambda = 0,53 \text{ мкм}$ . Степень восстановления кристаллической структуры имплантированных слоев кремния после лазерного отжига оценивалось методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). Оптическое поглощение в исследуемых слоях рассчитывалось по спектрам пропускания и отражения, измеренных в диапазоне 190–2700 нм.

Из осциллограмм отражения зондирующего излучения (рис. 1, *a*) видно, что время жизни расплава, измеряемое временем повышенного ко-

эфициента отражения ЗИ, при воздействии НИ увеличивается с увеличением концентрации Se в кремнии: 220 и 260 нс при дозах имплантации  $1 \times 10^{15}$  и  $1 \times 10^{16}$   $\text{см}^{-2}$  соответственно. При комбинированном отжиге время жизни расплава увеличивается в 1,9 раза для обеих доз имплантации. Данные спектроскопии КРС свидетельствуют об аморфизации поверхностного слоя кремния после имплантации и о его последующей кристаллизации вследствие лазерного отжига. Наибольшая степень восстановления кристаллической структуры наблюдается для образцов, имплантированных меньшей дозой и прошедших комбинированный лазерный отжиг.

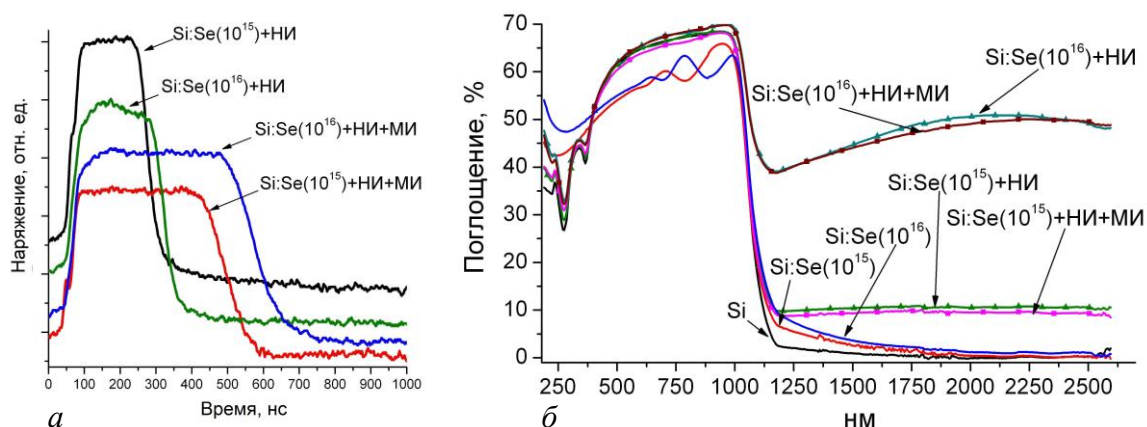


Рис. 1. Динамика отражательной способности зондирующего излучения при лазерном отжиге (а) и спектры поглощения имплантированных и отожженных кремниевых слоев (б)

На рисунке 1, б представлены спектры оптического поглощения в имплантированных слоях кремния до и после ИЛО. После имплантации Se поглощение в ИК-области увеличивается незначительно (на 2–3 %). Наносекундная ИЛО образца Si, имплантированного дозой  $1 \times 10^{15}$   $\text{см}^{-2}$ , приводит к увеличению поглощения до 10,8 %, тогда как для кремния, имплантированного дозой  $1 \times 10^{16}$   $\text{см}^{-2}$ , поглощение после лазерного воздействия достигает 50,9 %. Комбинированная ИЛО, приводит к незначительному (1–2 %) уменьшению поглощения по сравнению с отжигом одиночным НИ.

Проведённое исследование позволяет заключить, что определяющим фактором увеличения оптического поглощения в формируемых слоях кремния в ИК области спектра, является степень пересыщения полупроводника легирующей примесью с концентрацией выше равновесного предела растворимости. Максимальное поглощения в ИК области (50,9 %) достигается путем имплантации примеси Se дозой  $1 \times 10^{16}$   $\text{см}^{-2}$  с последующим импульсным отжигом в режимах как наносекундного, так и комбинированного (НИ + МИ) лазерного воздействия.