

# Ионно-лучевой синтез наночастиц InSb в Si и исследование их оптических и фотоэлектрических свойств

**Р.И. Баталов, Б.А. Хабибуллин, В.В. Базаров, В.А. Шустов (КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)  
К.Н. Галкин (ИАПУ ДВО РАН, Владивосток), И.Б. Чистохин (ИФП СО РАН, Новосибирск),  
Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, И.Н. Пархоменко (БГУ, Минск, Беларусь)  
E-mail: batalov@kfti.knc.ru**

## Аннотация.

С целью синтеза в приповерхностной области монокристалла Si слоя узкозонного антимонида индия (InSb) проведена последовательная высокодозная имплантация Si ионами  $\text{In}^+$  и  $\text{Sb}^+$  с энергией 30 кэВ и дозой  $2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . Отжиг имплантированных слоёв Si:(In+Sb) в жидкофазном режиме проведён мощным импульсным (~ 100 нс) ионным пучком ( $\text{C}^+/\text{H}^+$ ) с энергией 300 кэВ и с плотностью энергии импульса 1.0 Дж/см<sup>2</sup>. Расчёт суммарного глубинного профиля концентрации имплантированных атомов In и Sb с учётом распыления показал их максимальную концентрацию 40 ат.% на глубине около 20 нм. Методом Резерфордского обратного рассеяния ионов He<sup>+</sup> обнаружена сегрегация примесных атомов к поверхности Si в результате импульсного отжига. Спектры рентгеновской дифракции в скользящих лучах и рамановского рассеяния света указывают на формирование фазы InSb с уровнем деформации растяжения 0.6-0.7%. С помощью оптических ИК-спектров оценена концентрация электронов в слое ( $2 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ) за счёт донорной примеси Sb и показано образование интенсивной полосы поглощения при 3.85 мкм. Измерения фотоотклика на диодной меза-структуре при 300 К показали сдвиг края фоточувствительности до 1240 нм по сравнению с типовым Si-фотодиодом (ФД-24).

## Детали эксперимента

### Методы получения образцов Si-InSb:

- 1) Последовательная ионная имплантация p-Si(111) ←  $\text{In}^+$  (30 кэВ/2e16) ←  $\text{Sb}^+$  (30 кэВ/2e16)
- 2) Импульсная ионная обработка (ИИО) Si:(In+Sb) ←  $\text{C}^+/\text{H}^+$  (300 кэВ, 100 нс, 1.0 Дж/см<sup>2</sup>)

### Методы исследования образцов Si-InSb:

- 1) Моделирование глубинных профилей, в т.ч. с учётом распыления
- 2) Резерфордское обратное рассеяние (ROP)
- 3) Рентгеновская дифр. в скольз. лучах (РДСЛ)
- 4) Рамановская спектроскопия
- 5) Оптическая спектроскопия (Transmit., Refl.)
- 6) Вольт-амперная характеристика (ВАХ)
- 7) Регистрация фотоотклика (ФО)

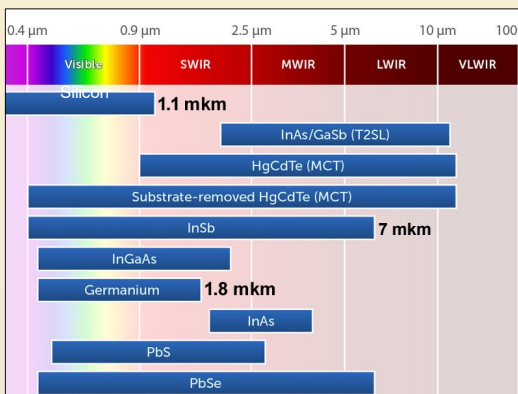


Рис. 1. Спектральные диапазоны работы различных фотоприёмников в видимой и ИК области на базе Si, Ge, АЗВ5 и КРТ соединений.

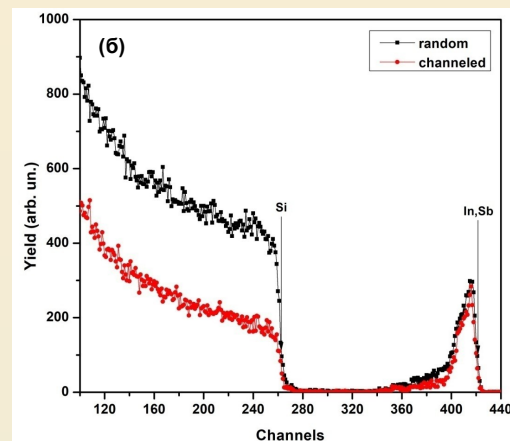
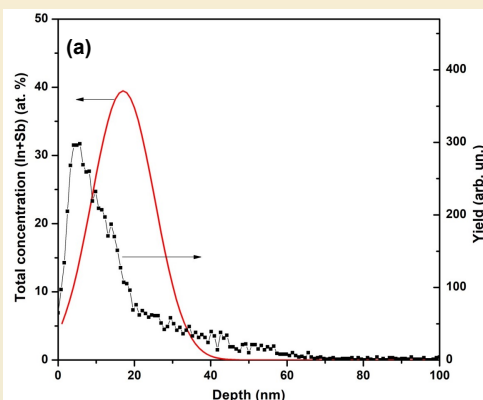


Рис. 2. (а) Расчётный глубинный профиль суммарной концентрации атомов In и Sb в Si с учётом распыления Si во время ионной имплантации (красн.). Также приведён неориентированный спектр атомов In и Sb после ИИО ( $W = 1.0 \text{ Дж/см}^2$ ) (чёрн.). (б) Спектры ROP образца Si:(In+Sb) после ИИО ( $W = 1.0 \text{ Дж/см}^2$ ).

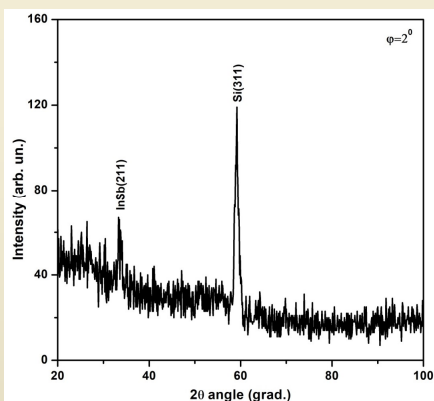


Рис. 3. Спектр РДСЛ (угол падения  $\phi = 2^\circ$ ) для образца p-Si, имплантированного ионами In и Sb и отожженного при ИИО ( $W = 1.0 \text{ Дж/см}^2$ ).

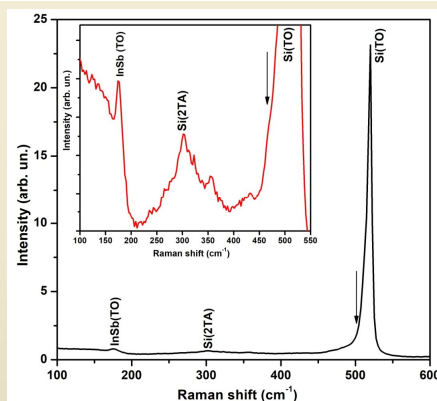


Рис. 4. Спектр Рамановского рассеяния света в образце p-Si, имплантированном ионами In и Sb и затем отожженном при ИИО ( $W = 1.0 \text{ Дж/см}^2$ ).

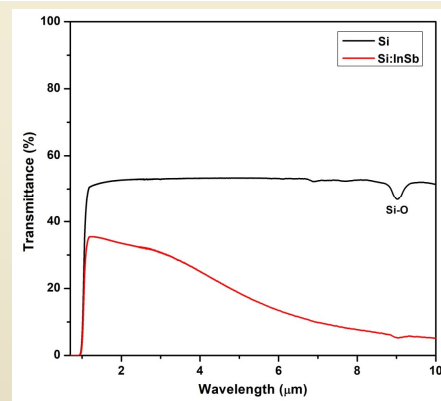


Рис. 5. ИК-спектры пропускания исходного p-Si и образца Si:(In+Sb) после ИИО ( $W = 1.0 \text{ Дж/см}^2$ ).

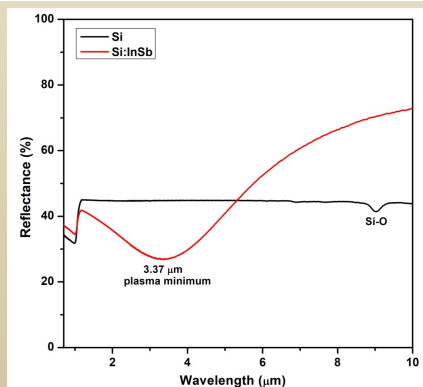


Рис. 6. ИК-спектры отражения исходного p-Si и образца p-Si:(In+Sb) после ИИО ( $W = 1.0 \text{ Дж/см}^2$ ).

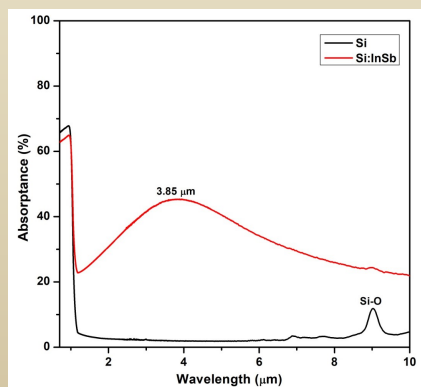


Рис. 7. ИК-спектры поглощения исходного p-Si и образца p-Si:(In+Sb) после ИИО ( $W = 1.0 \text{ Дж/см}^2$ ).

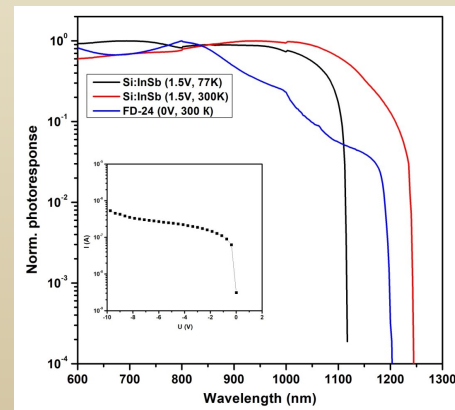


Рис. 8. Спектры ФО образца Si:(In+Sb) при 77 и 300 К и Si-фотодиода (ФД-24). Вставка-ВАХ образца.