

# Со-имплантация кремния ионами индия, мышьяка и сурьмы для формирования наночастиц узкозонных АЗВ5 полупроводников, перспективных для ИК-фотодетекторов

Р.И. Баталов, Д.А. Файзуллин, В.Ф. Валеев, В.И. Нуждин, А.М. Рогов, А.Л. Степанов

## Аннотация.

Узкозонные АЗВ5 полупроводники - антимонид индия InSb ( $E_g=0.17$  эВ) и арсенид индия InAs ( $E_g=0.35$  эВ) широко применяются в научных исследования и промышленности в качестве охлаждаемых фотоприёмников ИК излучения с длиной волны 2-7 мкм. При этом данный спектральный диапазон соответствует области прозрачности монокристаллов Si ( $E_g=1.1$  эВ), применяемых для фотодиодов на спектральную область 0.3-1.1 мкм. Проблема расширения области поглощения и фоточувствительности Si на ближнюю и среднюю ИК-область представляет большой практический интерес. Решение данной проблемы может быть реализовано путём создания наночастиц InSb и InAs в матрице Si. Формирование таких наночастиц может быть проведено путём последовательной имплантации ионов  $In^+$  и  $Sb^+$  (или  $In^+$  и  $As^+$ ) в Si с последующим термическим или импульсным (лазерным или ионным) отжигом. В данной работе проведена со-имплантация монокристалла p-Si указанными ионами (без отжига). Проведено моделирование глубинных профилей примесей без или с учётом распыления. Исследована структура поверхности и её элементный состав. Получены спектры отражения в области 200-1100 нм и спектры пропускания в ИК-области (1-10 мкм). Показано смещение профилей к поверхности и потеря части примеси с ростом дозы ионов. Со-имплантация приводит к аморфизации Si и к росту поглощения в ИК-области.

## Детали эксперимента

### Методы формирования слоёв InSb и InAs в Si:

- 1) Со-имплантация ионов (ускоритель ИЛУ-3): p-Si(111) ←  $In^+$  ( $E = 30$  кэВ,  $\Phi = 3 \times 10^{16}$  и  $6 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>) p-Si:In ←  $Sb^+$  ( $E = 30$  кэВ,  $\Phi = 3 \times 10^{16}$  и  $6 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>) p-Si:In ←  $As^+$  ( $E = 40$  кэВ,  $\Phi = 3 \times 10^{16}$  и  $6 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>)
- 2) Импульсный ионный отжиг (ИИО, ускоритель ТЕМП):  $C^+(80\%)$ ,  $H^+(20\%)$ , 300 кэВ,  $\tau=100$  нс,  $W=0.5-1.5$  Дж/см<sup>2</sup> (пока не проводился)

### Методы исследования слоёв InSb и InAs в Si:

- 1) Моделирование профилей примесей In, Sb, As в Si без или с учётом ионного распыления
- 2) Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) поверхности Si и её микроанализ (EDX)
- 3) Оптическая T/R спектроскопия ( $\lambda=200-1100$  нм)
- 4) Оптическая ИК-спектроскопия (T,  $\lambda=1-25$  мкм)

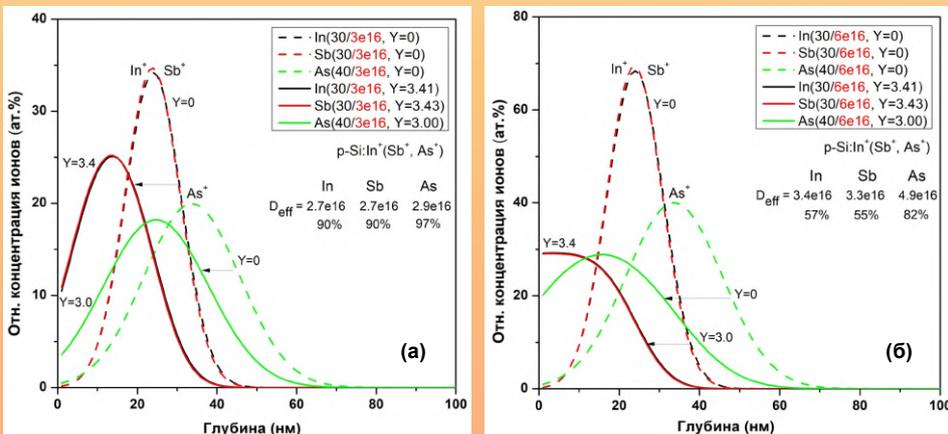


Рис.1. Глубинные профили ионов In, Sb и As в Si, полученные без учёта распыления (Y=0, пунктир) и с учётом распыления (Y=3.0-3.4, сплошные). (а) Доза имплантации  $\Phi=3 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>, (б)  $\Phi=6 \times 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Во вставке дана расчётная доза  $\Phi$  с учётом распыления.

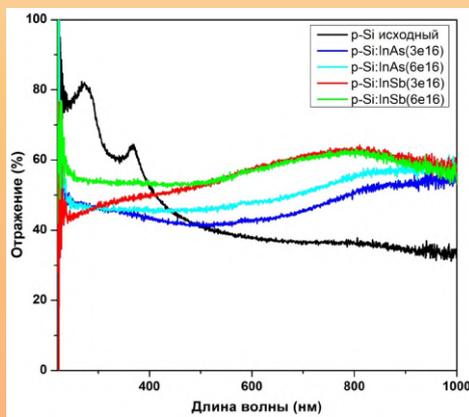


Рис.3. Спектры отражения кристалла p-Si и p-Si после со-имплантации ионами (In+Sb) и (In+As) с дозами  $(3-6) \times 10^{16}$ .

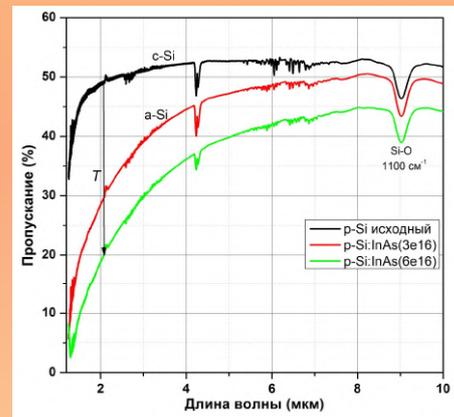
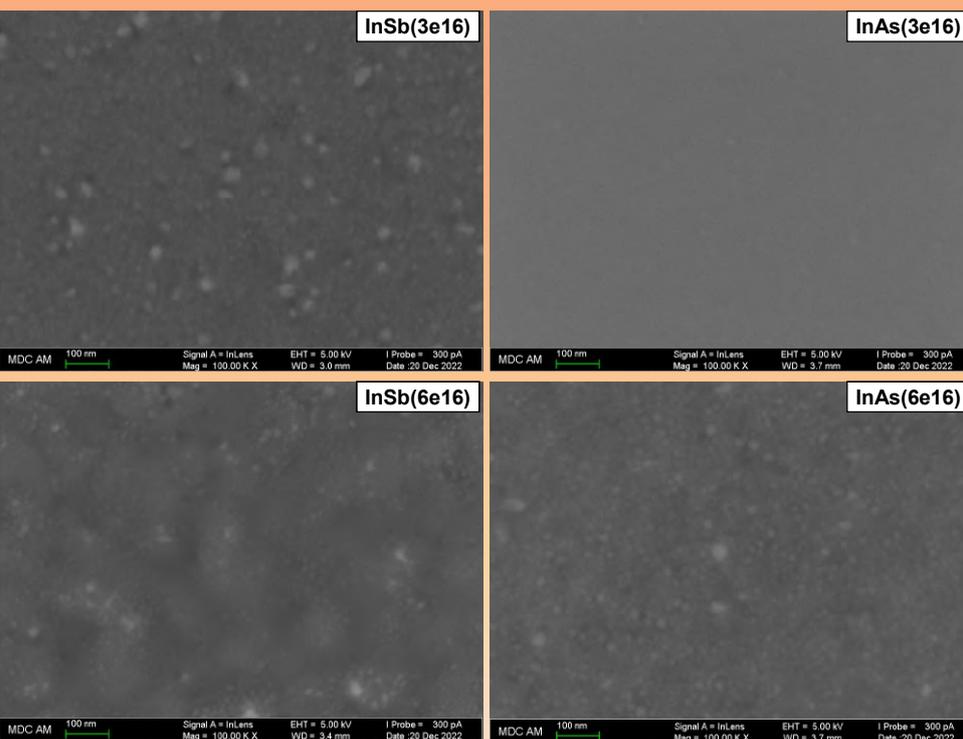


Рис.4. Спектры ИК-пропускания кристалла p-Si и p-Si после со-имплантации ионами (In+Sb) и (In+As) с дозами  $(3-6) \times 10^{16}$ .

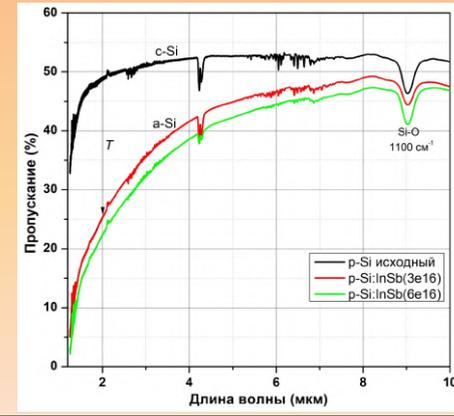


Рис.2. СЭМ-изображения поверхности p-Si после со-имплантации ионами (In+Sb) и (In+As) с дозами  $(3-6) \times 10^{16}$ . Увеличение =  $10^5$ . В таблицах дан состав слоёв из данных EDX для  $E=20$  кэВ.