

# ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ И ФОСФОРА

О.Г. Бобрович

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,

olegbobrovich@yandex.ru



В настоящей работе методом резерфордовского обратного рассеяния ионов гелия с  $E_0 = 1$  МэВ в сочетании с каналированием (РОРКИ) исследовано дефектообразование в кристаллах (111) GaAs, имплантированных ионами алюминия энергией 60 кэВ и дозами  $4,0 \cdot 10^{13}$   $\text{Al}^+/\text{см}^2$  –  $8,1 \cdot 10^{15}$   $\text{Al}^+/\text{см}^2$  при комнатной температуре и фосфора с энергией 60 кэВ до дозы  $4,0 \cdot 10^{14}$   $\text{P}^+/\text{см}^2$  после термического отжига в интервале температур 150 – 450 °С. Имплантация ионов  $\text{P}^+$  проводилась при плотности тока 2,5 мкА/см<sup>2</sup>, при которой наблюдалась аморфизация поверхностного слоя кристалла GaAs. Спектры РОРКИ ионов гелия регистрировались поверхностно-барьерным детектором с  $\Delta E = 15$  кэВ в условиях стандартной ( $\theta = 150^\circ$ ) геометрии.

## Результаты и обсуждение

На рис. 1 показаны спектры ОР кристаллов GaAs, модифицированных имплантацией ионов алюминия при комнатной температуре разными дозами. Осевой выход ориентированного спектра в области 142-172 каналов, связанный с повреждением в кристалле, растет с увеличением дозы имплантации ионов алюминия. Глубина максимальной концентрации дефектов сравнима с глубиной проникновения ионов алюминия с соответствующей энергией в кристалл арсенида галлия. При увеличении дозы до  $4,07 \cdot 10^{15}$   $\text{Al}^+/\text{см}^2$  наступает аморфизация приповерхностного слоя кристалла и при дальнейшем увеличении дозы до  $8,14 \cdot 10^{15}$   $\text{Al}^+/\text{см}^2$  происходит уширение толщины аморфного слоя. Вместе с тем, рост уровня деканалирования за пиком повреждений обнаруживает тот факт, что в кристалле GaAs могут формироваться дефекты структуры разного типа. При имплантации в GaAs ионов  $\text{Al}^+$  с энергией 60 кэВ в нем возможно образование простых дефектов (пар Френкеля) и кластеров дефектов, число которых с увеличением дозы растет. Взаимодействуя друг с другом, они образуют области скопления дефектов, и перекрываясь, могут формировать зародыши аморфных зон. Далее при увеличении плотности аморфных зон и их перекрытии образуется сплошной аморфный слой в арсениде галлия.

Степень дефектности  $\chi$  кристалла GaAs слабо растет при малых дозах имплантации ионов алюминия и сильно возрастает при достижении дозы  $4,07 \cdot 10^{15}$   $\text{Al}^+/\text{см}^2$ . Наблюдаемая нелинейная зависимость нарушения кристаллической решетки свидетельствует о наличии различных механизмов дефектообразования при изменении дозы ионной имплантации.

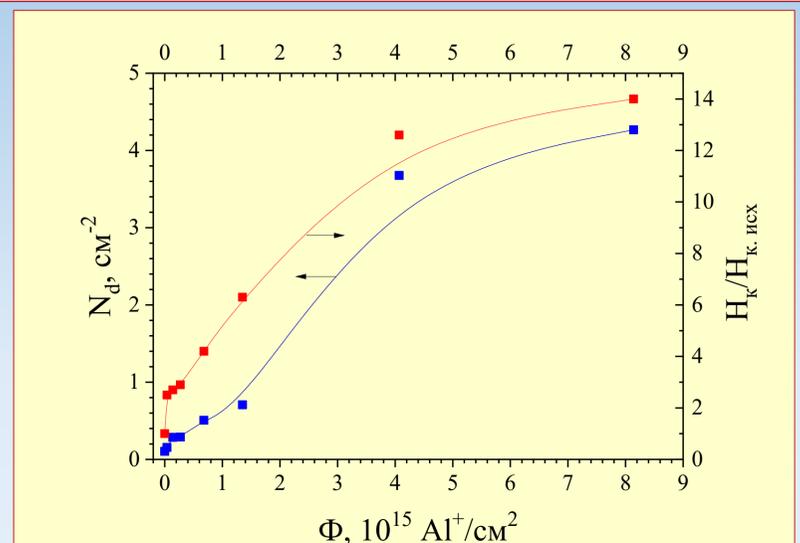


Рис. 2. Дозовая зависимость слоевого содержания дефектов  $N_d$  и нормированного уровня деканалирования  $H_k/H_{k,исх}$  для (111) осевых спектров обратного рассеяния ионов гелия от кристаллов GaAs имплантированных ионами алюминия при комнатной температуре

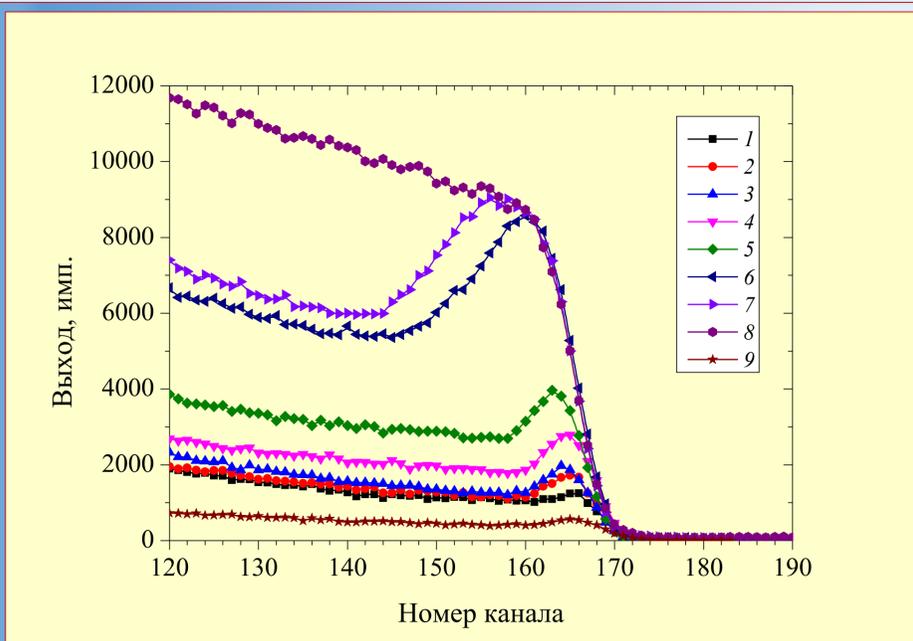


Рис. 1. Энергетические (111) осевые спектры ионов  $^4\text{He}$  с  $E_0=1,0$  МэВ от GaAs, имплантированного ионами алюминия с энергией 60 кэВ дозами: 1 –  $4,10 \cdot 10^{13}$   $\text{см}^{-2}$ ; 2 –  $1,35 \cdot 10^{14}$   $\text{см}^{-2}$ ; 3 –  $2,70 \cdot 10^{14}$   $\text{см}^{-2}$ ; 4 –  $6,78 \cdot 10^{14}$   $\text{см}^{-2}$ ; 5 –  $1,35 \cdot 10^{15}$   $\text{см}^{-2}$ ; 6 –  $4,07 \cdot 10^{15}$   $\text{см}^{-2}$ ; 7 –  $8,14 \cdot 10^{15}$   $\text{см}^{-2}$ . 8 – случайный спектр и 9 – исходный осевой спектр от GaAs

Анализ энергетических спектров обратного рассеяния ионов гелия от кристаллов GaAs, имплантированных ионами  $\text{P}^+$  и отожженных при различных температурах показал, что слоевая концентрация дефектов уменьшается с увеличением температуры отжига (табл.). Так при температуре отжига  $t = 350^\circ\text{C}$  значение слоевой концентрации дефектов снижается в два раза, а при температуре  $t = 450^\circ\text{C}$  – в три раза в сравнении со слоевой концентрацией дефектов исходного не отожженного образца, которая составляла  $2,7 \cdot 10^{17}$  ат/см<sup>2</sup>. Глубина максимальной концентрации дефектов сравнима с глубиной проникновения ионов фосфора с соответствующей энергией в кристалл арсенида галлия.

Параметры отжига кристаллов GaAs, имплантированных ионами  $\text{P}^+$ , относительная слоевая концентрация дефектов и нормированный уровень деканалирования

| № образца | $\Phi$ , $\text{P}^+/\text{см}^2$ | Температура отжига, °С | $(N_d)_{RT}/(N_d)_t$ | $\chi_{min}$ |
|-----------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|--------------|
| SP1       | $4 \cdot 10^{14}$                 | Р. Т. 20               | 1                    | 0,388        |
| SP3       | $4 \cdot 10^{14}$                 | 150                    | 1,14                 | 0,363        |
| SP4       | $4 \cdot 10^{14}$                 | 250                    | 1,60                 | 0,359        |
| SP5       | $4 \cdot 10^{14}$                 | 300                    | 1,89                 | 0,341        |
| SP6       | $4 \cdot 10^{14}$                 | 350                    | 2,05                 | 0,311        |
| SP7       | $4 \cdot 10^{14}$                 | 400                    | 2,11                 | 0,327        |
| SP8       | $4 \cdot 10^{14}$                 | 450                    | 3,02                 | 0,314        |

Слоевая концентрация дефектов, как и нормированный уровень деканалирования  $\chi = H_k/H_{k,исх}$ , рассчитанные по спектрам РОР, увеличиваются с увеличением дозы имплантированных ионов алюминия (рис.2).

## Заключение

Имплантация при комнатной температуре ионов алюминия до доз  $1,35 \cdot 10^{15}$   $\text{Al}^+/\text{см}^2$  не приводит к аморфизации поверхностного слоя, а в случае применения более высоких доз имплантации для снижения слоевой концентрации дефектов требуется дополнительный отжиг образцов.

При термическом отжиге кристаллов GaAs имплантированных ионами фосфора происходит не только снижение концентрации первичных радиационных дефектов, но и их перестройка, что следует из анализа изменения уровня деканалирования за пиком повреждений, которое может быть также связано с формированием в арсениде галлия дефектов структуры разного типа.