

Вычисление оптимальной толщины слоя $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ в трехкаскадном $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}/\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ солнечном элементе в зависимости от величины времени жизни неосновных носителей заряда в этом слое

Д.М. Леган¹, О.П. Пчеляков¹, М.О. Петрушков¹, В.В. Преображенский¹

¹ *Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск,*

630090, Академика Лаврентьева, 13

тел: +7 (383) 333-1967, эл. почта: dmlegan@isp.nsc.ru

Традиционно, в большинстве спутников и других космических аппаратов используются трехкаскадные Ge (подложка)/ $\text{GaAs}/\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ солнечные элементы (СЭ) [1]. Хорошей альтернативой упомянутым выше СЭ являются трехкаскадные $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}/\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ солнечные элементы [2]. За счет оптимально подобранной ширины запрещенной зоны нижнего $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ каскада ($E_g \approx 1$ эВ), удается добиться согласованности по току неравновесных носителей заряда во всех трех каскадах и получить оптимальный вклад в выходное напряжение СЭ от нижнего $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ каскада. Однако, создание эффективного трехкаскадного СЭ, основанного на этих трех соединениях является не простой задачей, поскольку постоянная решетки соединения $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ отличается от постоянных решеток соединений GaAs и $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ (у последних двух постоянные решетки совпадают). Естественно, что из-за несогласованности постоянных решеток, при росте данного трехкаскадного СЭ, в структуре возникают прорастающие дислокации, которые уменьшают время жизни неосновных носителей заряда (ННЗ) за счет рекомбинации Шокли-Рида-Холла. В итоге получается, что увеличение толщины поглощающего слоя с одной стороны увеличивает долю поглощенных фотонов, а с другой увеличивает рекомбинацию ННЗ. Ясно, что для каждого значения времени жизни ННЗ существует оптимальная толщина поглощающего слоя, которой соответствует максимальный выходной ток, протекающий в данном каскаде. Поиск этой оптимальной толщины слоя $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ при различных значениях времени жизни ННЗ являлся целью данной работы.

Для того, чтобы избежать появления прорастающих дислокаций во всех трех каскадах данного трехкаскадного солнечного элемента, эпитаксиальный рост происходит инвертированным образом. То есть, сначала на подложке GaAs выращивается верхний $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ каскад, затем средний GaAs и только потом каскад $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, а затем вся эта структура, вместе с подложкой переносится на какой-либо носитель, например, кремниевую подложку, стекло или гибкую полимерную пленку. После этого, подложка либо полностью стравливается, либо отшелкивается для последующего использования путем стравливания жертвенного слоя.

Моделирование работы $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ каскада трехкаскадного СЭ проводилось с помощью программного пакета Sentaurus TCAD. За основу спектра падающего излучения был взят стандартный солнечный спектр AM 1.5d за вычетом тех фотонов, чьи энергии превышали значения энергии $E_g(\text{GaAs})=1.42$ эВ, то есть, предполагалось, что все фотоны с энергией, большей $E_g(\text{GaAs})=1.42$ эВ, поглощались в двух верхних каскадах: GaAs и $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$. Время жизни ННЗ в слое $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ варьировалось в пределах от 17 пс до 53 нс. Степень легирования основной поглощающей области $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ каскада составляла $5 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Смысл данной работы заключается в том, что имея полученную зависимость и проделав опыт по экспериментальному измерению времени жизни ННЗ в $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ каскаде, можно говорить о том, какая толщина поглощающего слоя лучше всего подойдет для данного уровня технологии, иначе говоря, для данной плотности прорастающих дислокаций, появляющихся в данном каскаде. Результаты расчетов показали, что оптимальная толщина поглощающего слоя $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ сильно отличается в зависимости от величины времени жизни ННЗ. При изменении времени жизни от 17 пс до 53 нс, оптимальная толщина изменяется в пределах от 0.9 до 7.5 мкм.

Литература

1. King R. et al., Advanced Multijunction Solar Cells for Space // Proc. 4th IEEE World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, USA, 2006, Vol. 2, pp. 1757-1762.
2. Geisz J.F. et al., High-efficiency GaInP/GaAs/InGaAs triple-junction solar cells grown inverted with a metamorphic bottom junction // *Applied Physics Letters* 91, 023502 (2007).