

Поиск 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

Леган Дмитрий Михайлович

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск

Пчеляков Олег Петрович, д.ф.-м.н.

dmlegan@isp.nsc.ru

Традиционно, в большинстве спутников и других космических аппаратов используются трехкаскадные $\text{Ge}(\text{подложка})/\text{GaAs}/\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ солнечные элементы (СЭ) [1]. Однако у этих СЭ существует недостаток, который заключается в несогласованности ширины запрещенной зоны нижнего Ge каскада по отношению к остальным каскадам. Ширина запрещенной зоны германия в этом трехкаскадном СЭ является слишком маленькой, что приводит к тому, что ток неравновесных носителей заряда, вызванный поглощением фотонов в этом каскаде, получается слишком большим, а выходное напряжение слишком маленьким. Однако, общий ток многокаскадного СЭ определяется наименьшим током неравновесных носителей заряда в каком-либо из каскадов, поэтому в итоге получается, что общий ток СЭ не отличается от токов в GaAs и $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ каскадах, однако вклад в общее выходное напряжение от Ge каскада получается достаточно маленьким.

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), удастся 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 в конечном итоге оказывают пагубное влияние на эффективность СЭ. Поэтому, во-первых, при росте данного трехкаскадного СЭ используется не прямой рост, а инвертированный. То есть, сначала выращивается каскад $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$, затем каскад GaAs и только потом каскад $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, чтобы дислокации возникали только в каскаде $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, а не во всех трех каскадах, как это было бы при прямом росте. А во-вторых, необходимо подобрать оптимальную толщину поглощающего слоя $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$, ведь известно, что дислокации являются активными центрами рекомбинации, а значит, большая концентрация дислокаций приводит к уменьшению времени жизни неосновных носителей заряда (ННЗ). Целью данной работы являлось вычисление оптимальной толщины поглощающего слоя $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ в зависимости от величины времени жизни ННЗ. Увеличение толщины слоя $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ с одной стороны увеличивает долю поглощенных фотонов, а с другой приводит к увеличению рекомбинации неравновесных носителей заряда. Поэтому поиск оптимальной толщины $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ каскада является важной задачей для достижения максимального КПД данного многокаскадного СЭ. Конкретные значения времени жизни задавались в расчетную модель через рекомбинацию Шокли–Рида–Холла. Также в расчете учитывалась излучательная и Оже рекомбинация.

Моделирование работы $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ каскада трехкаскадного СЭ проводилось с помощью программного пакета Sentaurus TCAD. Для увеличения числа поглощенных фотонов, использовалось тройное просветляющее покрытие $\text{TiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ с толщинами $d(\text{TiO}_2)=25$ нм, $d(\text{Si}_3\text{N}_4)=30$ нм, $d(\text{SiO}_2)=75$ нм [3]. 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 $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$. В данной модели нижний контакт был сделан золотым, а сверху был смоделирован прозрачный контакт, который не препятствовал прохождению света вглубь полупроводника. Время жизни ННЗ в слое $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ варьировалось в пределах от 0.1 до 160 нс. Для уменьшения рекомбинационных потерь, сверху и снизу каскада $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ были сделаны слои из широкозонного материала $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{P}$, в которых не происходило поглощение света. Толщина этих слоев составляла 0.1 мкм, степень легирования 10^{19} см^{-3} . Степень легирования основной поглощающей области (базовой области) $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ каскада составляла $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. На рис. 1 представлена искомая зависимость оптимальной толщины поглощающего слоя $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ от величины времени жизни неосновных носителей заряда в этом слое. 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 более всего подойдет для данного уровня технологии, иначе говоря, для данной плотности прорастающих дислокаций, появляющихся в данном каскаде. Как видно из графика полученной зависимости, 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 0.1 до 160 нс, оптимальная толщина изменяется в пределах от 0.9 до 7.5 мкм. Так же, судя по графику, можно сделать вывод, что при

величине времени жизни ННЗ 40 нс и более значение оптимальной толщины достигает величины 7.5 мкм и далее не увеличивается. Вероятно это связано с тем, что на этой толщине практически все фотоны успевают поглотиться в слое $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ: № 16-12-00023.

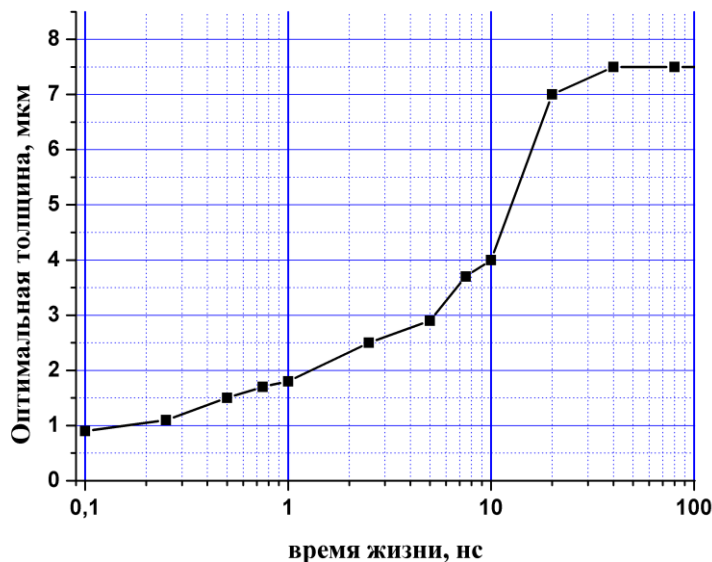


рис. 1. Зависимость оптимальной толщины поглощающего слоя $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ трехкаскадного $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}/\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ солнечного элемента от величины времени жизни ННЗ в этом слое

Список публикаций:

- [1] King R. et al. Advanced Multijunction Solar Cells for Space // Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, Vol. 2, pp. 1757-1762
- [2] J. F. Geisz et al., High-efficiency GaInP/GaAs/InGaAs triple-junction solar cells grown inverted with a metamorphic bottom junction, Applied Physics Letters 91, 023502 (2007)
- [3] В. М. Андреев и др., патент №2436191

Определение пьезокоэффициентов микротрубок дифенилаланина локальными и интегральными методами

Нураева Алла Сергеевна

Васильев Семен, Светлана Копыл, Зеленовский Павел, Тофаил Саид, Холкин Андрей Леонидович
Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина
Шур Владимир Яковлевич, д.ф.-м.н.
alla.nuraeva@urfu.ru

Самоорганизующиеся органические материалы могут быть использованы для изготовления функциональных нано- и микроустройств с заданными свойствами. Пептиды являются важными молекулярными «строительными блоками», благодаря их гибкости и большому разнообразию формирующихся структур. Такие структуры имеют широкий диапазон применений от остовов для клеточной инженерии [1] до светодиодов [2] и биосенсоров [3]. Широко исследуемый короткий дипептид дифенилаланин (ФФ) самоорганизуется в микротрубки, обладающие выраженными пьезоэлектрическими свойствами [4], что в сочетании с высокой жесткостью [5] открывает возможности использования в качестве «зеленых» электромеханических систем, а также различных биоприложений.

Сравнительно малые размеры микротрубок ФФ (МКТ-ФФ) позволяют использовать для исследования их пьезоэлектрических свойств только локальные методы [4]. При этом экспериментальные данные могут быть искажены электростатическим взаимодействием зонда с поверхностью образца, что затрудняет количественную оценку пьезоэлектрических коэффициентов [6]. Таким образом, возникла необходимость верификации локальных методов исследования пьезоэлектрических свойств.