

УДК: 621.383.933:621.3.029.78

ИЗМЕНЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР AlGaInP КРАСНОГО И ЖЕЛТОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА-КВАНТАМИ И БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ

А. В. Градобоев^{1,2}, К. Н. Орлова¹, И. А. Асанов²

¹ Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, ² ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов», г. Томск

Получена 17 октября 2013 г.

Аннотация. Представлены результаты исследования вольт-амперных характеристик светодиодов на основе гетероструктур AlGaInP красного (630 нм) и желтого (590 нм) свечения при облучении гамма-квантами ⁶⁰Co дозой до $5 \cdot 10^6$ Гр и быстрыми нейтронами флюенсом $2 \cdot 10^{14}$ н/см² в пассивном режиме питания. Показано, что в исследуемом диапазоне доз и флюенсов видимые изменения в вольт-амперных характеристиках (ВАХ) отсутствуют. При этом на ВАХ отчетливо обнаруживаются два этапа, которые согласно оценкам соответствуют областям средней и сильной инжекции. Подробное рассмотрение ВАХ светодиодов в полулогарифмическом масштабе позволяет ассоциировать данные области с двумя механизмами токообразования – инжекцией носителей заряда и инжекцией носителей заряда наряду с модуляцией сопротивления активной области гетероструктур AlGaInP.

Ключевые слова: гетероструктуры AlGaInP, радиационная стойкость, светодиоды.

Abstract. Research results of the current-voltage characteristics of red (630 nm) and yellow (590 nm) AlGaInP light-emitting diodes are presented under irradiation by gamma rays to ⁶⁰Co dose of $5 \cdot 10^6$ Gy and fast neutron fluence of $2 \cdot 10^{14}$ n/cm². An operating mode is passive. It is shown that changes in the current-voltage

characteristics are absent in the all dose and fluences range. The current-voltage characteristics found two distinct phases, which are estimated to correspond to areas of average and strong injection. Detailed investigation of the current-voltage characteristics of LEDs allows to associate these areas with two mechanisms of current generation - the injection of charge carriers and the injection of charge carriers along with the modulation of the AlGaInP active field resistance in the semi-logarithmic scale.

Keywords: heterostructures AlGaInP, radiation hardness, light-emitting diodes.

В последние годы разрабатывается огромное количество полупроводниковых устройств на основе четверичных соединений AlGaInP, которые применяются в ядерной и атомной электронике, в сфере оптической сигнальной обработки, в широком диапазоне, как гражданской, так и аппаратуре специальной техники [1]. Ввиду использования данных светодиодов в космическом пространстве и других условиях повышенного радиационного фона, перед исследователями стоит задача по определению радиационной стойкости светодиодов AlGaInP и ее прогнозированию.

Так как на данный момент практически отсутствуют данные по деградации гетероструктур AlGaInP при воздействии гамма и нейтронного излучения, являются необходимыми дальнейшие исследования изменения характеристик гетероструктур под действием ионизирующего излучения.

Цель работы: исследовать деградацию электрофизических характеристик светодиодов на основе гетероструктур AlGaInP с квантовыми ямами при облучении гамма-квантами ^{60}Co и быстрыми нейтронами на примере их ВАХ.

Светодиоды на основе гетероструктур AlGaInP с квантовыми ямами были получены из различных отечественных и зарубежных источников. Изготовленные кристаллы монтировались в стандартный корпус ТО-18. Линза для формирования направленного пучка излучения была изготовлена из оптического компаунда ПЭО-90МЭ. Результаты предварительных

исследований показали, что оптический компаунд, используемый для изготовления линз, не изменяет свои оптические свойства при облучении гамма-квантами ^{60}Co дозой вплоть до 10^7 Грей, поэтому все изменения оптических свойств диодов в результате облучения можно объяснить только изменениями оптических свойств активной области гетероструктур AlGaInP.

Каждая партия диодов разделяется на части, для каждой из которых осуществлялся последовательный набор дозы облучения с соответствующим шагом. Сопоставляя полученные результаты, можно в некоторой степени свести к минимуму влияние отжига радиационных дефектов на получаемые результаты при проведении измерений.

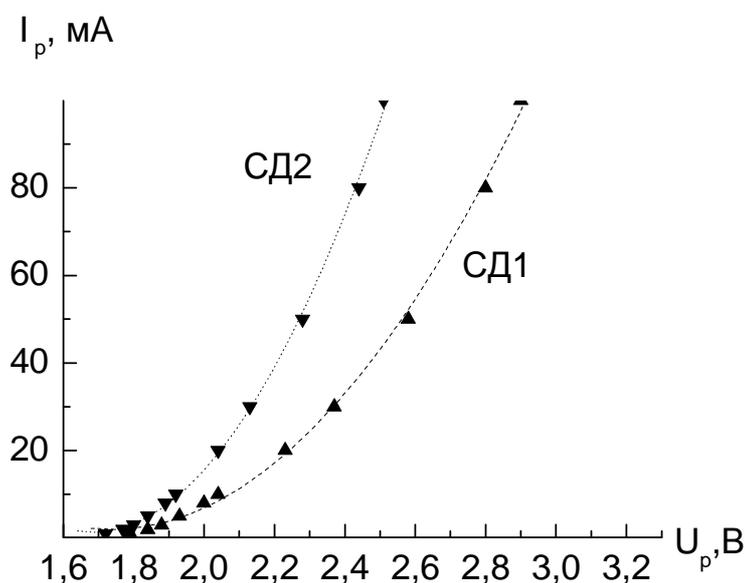


Рис. 1 – Вольт-амперная характеристика СД: а) – область средней инжекции; б) – область сильной инжекции; символы – результаты измерений; линии – установленные закономерности.

Рассмотрим результаты измерений, полученные при исследовании светодиодов AlGaInP (далее СД) при облучения гамма квантами и быстрыми нейтронами. Снижение мощности излучения при облучении гамма-квантами ^{60}Co дозой до $5 \cdot 10^6$ Гр достигало $\frac{P_x}{P_0} = 0,2$ [2], при облучении быстрыми

нейтронами флюенсом $2 \cdot 10^{14}$ н/см² составляло $\frac{P_x}{P_0} = 0,05$. На основании анализа полученных данных и усреднения результатов напряжения и токов не выявлено явных изменений в ВАХ светодиодов. На рис.1 показаны типичные прямые ветви ВАХ для исследуемых СД. Аппроксимация усредненных кривых показала что, с точностью до 99% зависимость тока от напряжения возможно описать квадратичной функцией.

На прямой ветви ВАХ светодиодов, построенных в полулогарифмических координатах, достаточно четко выделяются две области, которые соответствуют областям средней и сильной инжекции электронов.

Для каждой из выделенных областей имеется своя специфическая зависимость на анализируемых закономерностях. Отметим, что граница между выделенными областями плотности тока хорошо видна на ВАХ светодиодов AlGaInP различной длины излучения СД1 – $\lambda = 630$ нм; СД2 – $\lambda = 590$ нм.

Граница между областью средней и областью сильной инжекции электронов определяется равенством концентрации инжектируемых электронов и концентрации дырок в р-области. Выполненные нами оценки показали, что действительно при выявленных нами граничных значениях плотности рабочего тока СД концентрация инжектируемых электронов сопоставима с концентрацией дырок в р-области. Область слабой инжекции электронов исключена из рассмотрения, поскольку в этом случае величина протекающего тока практически не зависит от напряжения прямого смещения.

По виду полученных ВАХ, можно сделать вывод о том, что выделенные нами области относятся к областям средней и сильной инжекции электронов. В частности, из рис.2 видно, что для СД1 наблюдается сдвиг ВАХ в область более высокого прямого напряжения, что свидетельствует о более высоком вкладе сопротивления омических контактов металл-полупроводник.

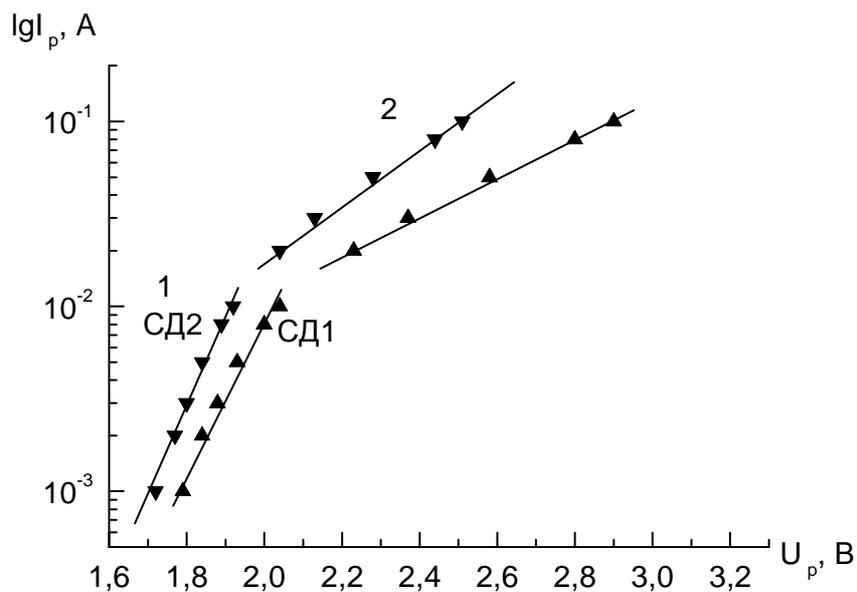


Рис. 2 – Вольт-амперная характеристика светодиодов в полулогарифмическом масштабе: 1 – область средней инжекции; 2 – область сильной инжекции.

Наклоны ВАХ СД в области средней инжекции электронов идентичны. Это позволяет предположить, что закономерности изменения мощности излучения и рабочего тока в области средней инжекции электронов не зависят (или слабо зависят) от ширины запрещенной зоны. С другой стороны в области высокой инжекции электронов наклон ВАХ увеличивается с уменьшением ширины запрещенной зоны. Конечно же, эти предположения нуждаются в проверке на СД изготовленных из других материалов.

Представленные результаты позволяют сделать вывод о том, что исследуемые СД работают при средней и высокой инжекции электронов [3,4].

По наклону касательных ВАХ и величине напряжения можно судить не только об уровне инжекции электронов, но и о наличии различных механизмов образования тока при работе СД [5].

Там, где ВАХ является экспоненциальной функцией, на графике отображается прямая линия. Линейная зависимость может теряться при

переходе к большим прямым токам из-за нарушений на p-n переходе или омическом контакте. Искажает вид характеристик также изменение времени жизни носителей, температуры, наличие каналов поверхностной электропроводности и т.п.

Первый участок (обозначен цифрой 1 на рис. 2) характеризуется большим угловым коэффициентом касательной, механизм протекания тока на котором предположительно связан с инжекцией носителей заряда. Таким образом, можно заключить, что в области средней инжекции электронов преобладает ток, связанный с инжекцией носителей заряда.

При дальнейшем увеличении тока наряду с инжекцией электронов сказывается модуляция сопротивления активной области светодиодов, это определяет второй участок ВАХ исходных светодиодов на рис. 2 с меньшим угловым коэффициентом, который соответствует области высокой инжекции электронов. Вид ВАХ светодиодов в области сильной инжекции перестает зависеть от концентрации примесей в слаболегированной области (активной области светодиода), это объясняется тем, что при высоком уровне инжекции свойства полупроводника активной области определяются в основном концентрацией инжектированных носителей. А полупроводник базы ведет себя идентично собственному полупроводнику. Значит, механизм токообразования при облучении гамма-излучением и быстрыми нейтронами является неизменным.

Как уже было показано ранее, при значительном снижении мощности излучения изменений в ВАХ СД выявлено не было. Таким образом, отсутствуют заметные изменения электрофизических характеристик активных слоев диодов и свойств контактов металл-полупроводник. Снижение мощности излучения светодиодов при облучении гамма-квантами ^{60}Co и быстрыми нейтронами в исследуемом случае обусловлено введением центров безызлучательной рекомбинации (или дополнительных центров поглощения излучения).

Выводы:

1. При облучении во всем диапазоне доз и флюенсов ВАХ светодиодов не показали видимых изменений, что позволяет сделать вывод о неизменности механизмов образования тока при облучении гамма излучением и быстрыми нейтронами во всем исследуемом диапазоне доз и флюенсов.
2. На ВАХ светодиодов AlGaInP с множественными квантовыми ямами ($\lambda = 630$ нм, $\lambda = 590$ нм.) можно четко выделить области средней и сильной инжекции носителей заряда.
3. На первом участке ВАХ (рис. 2) в области средней инжекции электронов наблюдается механизм образования тока связанный с инжекцией носителей заряда, на втором участке ВАХ в области высокой инжекции электронов помимо токообразования, обусловленного инжекцией носителей заряда сказывается изменение сопротивления активной области светодиодов.
4. Наклоны ВАХ СД в области средней инжекции электронов идентичны. С другой стороны в области высокой инжекции электронов наклон ВАХ увеличивается с уменьшением ширины запрещенной зоны.
5. Деградация мощности излучения при облучении гамма-квантами и быстрыми нейтронами во всем диапазоне доз и флюенсов обусловлена введением центров безызлучательной рекомбинации и/или дополнительных центров поглощения излучения.

Работа выполнена в рамках Г.К. № 14.513.11.0119.

Литература

1. P. Modak, M. DiHondt, P. Mijlemans, I. Moerman, P. Van Daele, P. Demeester. Journal of electronic materials, **29** (1), 80 (2000).
2. А.В. Градобоев, К.Н. Орлова, И.А. Асанов. Исследование деградации мощности излучения гетероструктур AlGaInP красного и желтого цвета свечения при облучении гамма-квантами [Электронный ресурс] / А.В.

- Градобоев, К.Н. Орлова, И.А. Асанов // Журнал радиоэлектроники. – 2013. – № 4. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/apr13/7/text.pdf>.
3. А.В. Градобоев, П.В. Рубанов. *Тез. докл 5-ой Межд. конф. Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах* (Томск, Россия, 2006) т. 1, с. 292.
 4. А.В. Градобоев, П.В. Рубанов, И.М. Скакова. Деграция светодиодов на основе гетероструктур InGaN/GaN при облучении гамма-квантами //Известия высших учебных заведений. Физика. №1. 2011–С190-194.
 5. В.В. Пасынков. Полупроводниковые приборы: Учеб. для Вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 479с.