УДК 628.9.038

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО В-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАВИННЫХ СВЕТОДИОДОВ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

Клюцкий А.Ю., Лазарук С.К., Долбик А.В., Стома С.С., Дудич В.В., Лабунов В.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь, lazaruk@bsuir.by

Аннотация: проведено исследование влияния ионизирующего β-излучения на характеристики лавинных светодиодов на основе наноструктурированного кремния. Дозы облучения составляли от 100 до 1000 Гр. В качестве источника ионизирующего β - излучения использовался итрий-стронцевый сплав с активностью излучения 300 кБк с временной продолжительностью от 1 дня до 30 дней. По мере увеличения дозы облучения наблюдалось увеличение порогового напряжения светоизлучения от 5 до 9 В, что объясняется увеличением плотности индуцированного отрицательного электрического заряда в изоляционных слоях. Изменение интенсивности светоизлучения в зависимости от тока светодиода не наблюдалось, что свидетельствует о стойкости функционирования светодиодов под действием β - излучения при дозах до 1000 Гр.

Ключевые слова: β – излучения, лавинные светодиоды, вольт-амперные характеристики.

I. ВВЕДЕНИЕ

Светодиоды на основе наноструктурированного кремния представляют собой перспективные элементы для применения в оптических системах связи. Эти устройства функционируют на принципе лавинного пробоя [1-4], что обеспечивает их высокую скорость работы и широкую полосу пропускания. Использование светодиодов подобного типа позволяет разрабатывать высокоскоростные системы оптических межсоединений [5,6] для замены существующих проводных интерфейсов, что существенно снизит задержки, обусловленные RC-эффектами. А возможность интеграции в существующие технологические процессы упрощает их массовое производство [7-9].

Понимание влияния ионизирующего излучения особенно важно для оценки надежности и устойчивости лавинных светодиодов в различных сферах применения, включая использование в космической и медицинской аппаратуре. В данной работе анализируется влияние ионизирующего излучения на эксплуатационные характеристики лавинных светодиодов из наноструктурированного кремния, что способствует дальнейшему развитию кремниевой фотоники в контексте повышения надежности и эффективности функционирования подобных устройств.

II. ЭКСПЕРИМЕНТ

Формирование матриц лавинных светодиодов на основе наноструктурированного кремния представлено в наших работах [10,11]. Светоизлучающим материалом является наноструктурированный кремний, встроенный в анодный оксид алюминия, что обеспечивает стабильность его функционирования в качестве источника света. Размеры светоизлучающих элементов определяются размерами алюминиевых электродов, обеспечивающих подачу смещающего напряжения и протекания электрического тока. Измерения ВАХ проводились в режиме развертки смещающего напряжения при температуре 20 °С. В качестве источника ионизирующего β - излучения использовался итрий-стронцевый сплав с активностью излучения 300 кБк с временной продолжительностью от 1 дня до 30 дней… Исследуемые образцы размещались в свинцовом корпусе на расстоянии 2 мм от источника излучения, что обеспечивало поглощенную образцами суточную дозу от 30-40 Гр. Месячная доза поглощения составила 900-1000 Гр.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 1 представлена фотография матрицы исследуемых лавинных светодиодов. В центре расположен светодиод, на который подано напряжение 10 В, обеспечивающее протекание тока 10 мА. Встречно-штыревая форма электродов излучает свет, как видно на рисунке 1. Интенсивность излучения достаточна для его визуализации при обычном комнатном освещении. В затемненном помещении визуализация светоизлучения имеет место при токе около 1 мА. Как было показано в наших работах, стабильность светоизлучения сохраняется при испытаниях более 1000 часов непрерывного функционирования, что достигается за счет эффективной защиты светоизлучающего материала наноструктурированного кремния пленкой анодного оксида алюминия [1].

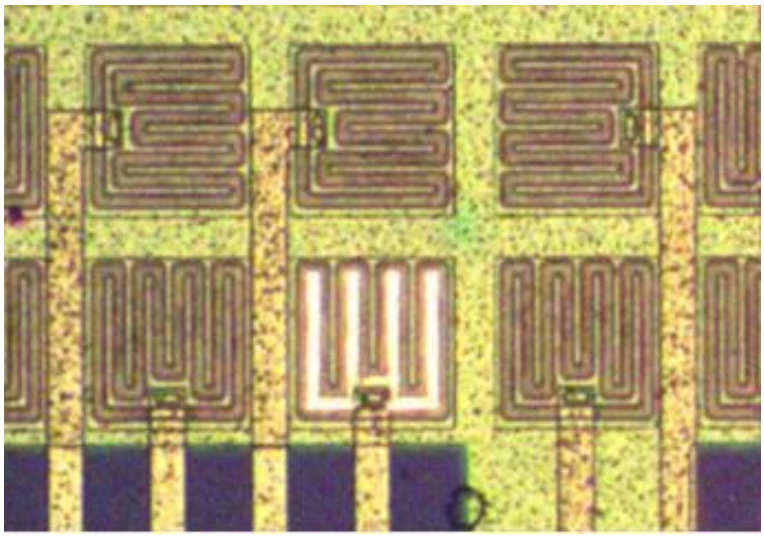


Рисунок 1. Светящийся контур в ячейке лавинных светодиодов

На рисунке 2 представлены графики ВАХ светодиодов до и после облучения. Как видно из рисунка при увеличении дозы облучения вольт-амперные характеристики светодиодов смещаются в область более высоких напряжений. Принимая во внимание, что пороговое значение светоизлучения заметного невооруженным глазом в затемненном пространстве составляет 1 мА значение порогового напряжения при облучении увеличивается от 5 до 9 В. При этом зависимость интенсивности светоизлучения от тока через светодиод не изменяется [12]. Данный эффект может быть объяснен индуцированием дополнительного отрицательного электрического заряда в анодном оксиде алюминия под действием ионизирующего β - излучения. В подтверждении этого свидетельствует эффект возвращения исследумых ВАХ к исходному состоянию (до облучения) после отжига при температурах 400-450 °С в течение 30-60 минут. Именно увеличение плотности отрицательного электрического заряда вызывает увеличение порогового напряжения лавинного пробоя.

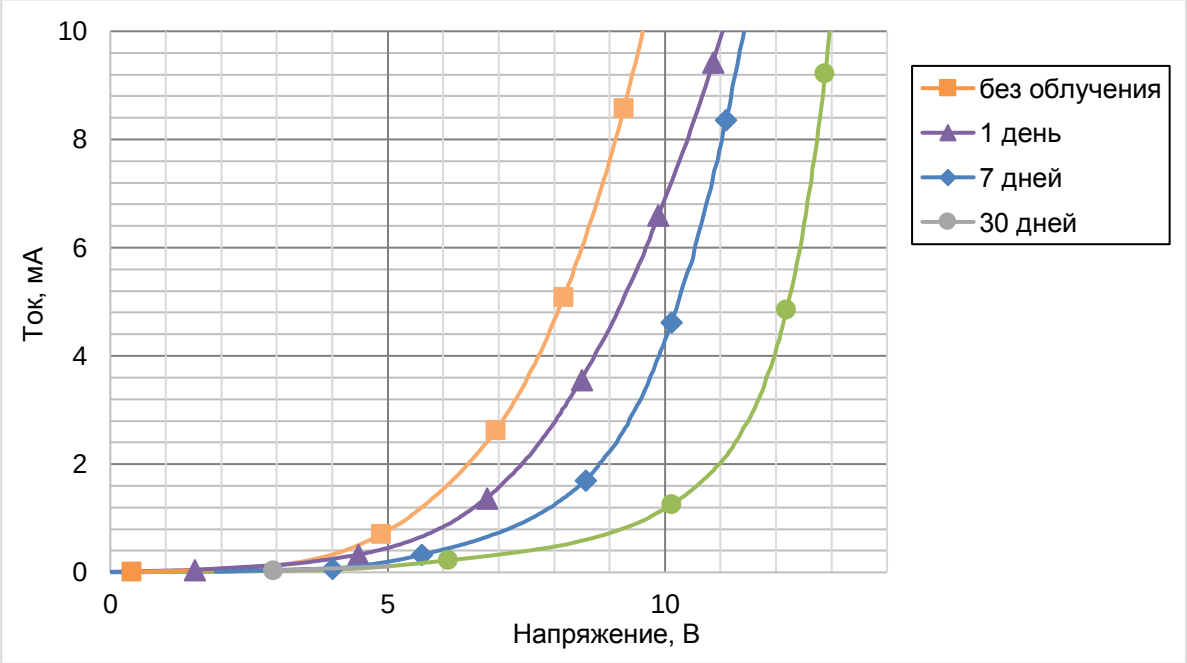


Рисунок 2. Вольт-амперная характеристика лавинных светодиодов при обратном смещении до и после облучения

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом проведенные исследования показали, что ионизирующее β - излучение дозами до 1000 Гр не вызывает деградации функционирования лавинных светодиодов на основе наноструктурированного кремния. При этом увеличение порогового напряжения светоизлучения при

увеличении дозы облучения объясняется увеличением плотности индуцированного отрицательного электрического заряда в анодном оксиде алюминия.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ проект № Т26УЗБ-040 (формирование светоизлучающих диодов) и БРФФИ проект № Т26В-010 (измерение характеристик светодиодов).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Lazarouk, S. Stable electroluminescence from reverse biased n-type porous silicon-aluminum Schottky junction device / S. Lazarouk, et al. // Applied Physics Letters. – 1996. – Vol. 68 (15). – P. 2108-2110.

[2] Berashevich, J.A. Electroluminescence in porous silicon at a reverse bias voltage applied to the Schottky barrier / J.A. Berashevich, S.K. Lazarouk, V.E. Borisenko // Semiconductors. – 2006. – Vol. 40 (2). – P. 234-239.

[3] Lazarouk, S. Electrical characterization of visible emitting electroluminescent Schottky diodes based on n-type porous silicon and on highly doped n-type porous polysilicon / S. Lazarouk, V. Bondarenko, P. Jaguiro et al. // Journal of Non-Crystalline Solids. – 1996. – Vol. 198. – P. 973-976.

[4] La Monica, S. Characterization of porous silicon light emitting diodes in high current density conditions / S. La Monica, et al. // Solid State Phenomena. – 1997. – Vol. 54. – P. 21-26.

[5] Jaguiro, P. Si-based optoelectronic couple / P. Jaguiro et al. // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2009. – Vol. 41 (6). – P. 1094-1096.

[6] Lazarouk, S.K. Reverse biased porous silicon light-emitting diodes for optical intra-chip interconnects / S.K. Lazarouk, et al. // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2003. – Vol. 16. – P. 495-498.

[7] Jaguiro, P. Si-based emissive microdisplays / P. Jaguiro, P. Katsuba, S. Lazarouk, M. Farmer, A. Smirnov // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2009. – Vol. 41 (6). – P. 927-930.

[8] Buzaneva, E. Photophysical properties of nano Si/SiOx composites in Al/composite/mono Si structures for green light emitting and photodetector-Schottky diodes / E. Buzaneva, et al. // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2000. – Vol. 3 (5-6). – P. 529-537.

[9] Lazarouk, S. Electroluminescence from nanostructured silicon embedded in anodic alumina / S. Lazarouk, et al. // Semiconductors. – 2007. – Vol. 41 (9). – P. 1109-1112.

[10] Chelyadinsky, A. Deformation of porous silicon lattice caused by absorption/desorption processes / A. Chelyadinsky, et al. // Journal of the Electrochemical Society. – 1997. – Vol. 144 (4). – P. 1463-1468.

[11] Лазарук, С.К. Влияние локальной напряженности электрического поля на формирование упорядоченной структуры пористого анодного оксида алюминия / С.К. Лазарук, и др. // Журнал технической физики. – 2015. – Т. 65 (9). – С. 86-90.

[12] Lazarouk, S. Optical characterization of reverse biased porous silicon light emitting diode / S. Lazarouk, et al. // Materials Science and Engineering. – 2000. – Vol. 69-70. – P. 114-117.

EFFECT OF IONIZING β-RADIATION ON THE CHARACTERISTICS OF AVALANCHE LIGHT-EMITTING DIODES BASED ON NANOSTRUCTURED SILICON

A.Y. Klutsky, S.K. Lazarouk, A.V. Dolbik, S.S. Stoma, V.V. Dudich, V.A. Labunov

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus,
lazaruk@bsuir.by

Abstract: a study was conducted on the effect of ionizing beta radiation on the characteristics of avalanche light-emitting diodes (LEDs) based on nanostructured silicon. Irradiation doses ranged from 100 to 1000 Gy. An yttrium-strontium alloy with an activity of 300 kBq served as the ionizing beta radiation source, with exposure times ranging from 1 to 30 days. As the irradiation dose increased, the threshold voltage rose from 5 to 9 V. This is attributed to an increase in the density of induced negative electric charge within the insulating layers. No changes in light emission intensity relative to the LED current were observed, demonstrating the operational stability of the LEDs under beta radiation at doses up to 1000 Gy.

Keywords: β –radiation, avalanche light emitting diodes, current-voltage characteristics.