

06

Влияние длительной работы при максимальной токовой нагрузке на характеристики карбид-кремниевых светодиодов, работающих в режиме электрического пробоя

© М.В. Белоус, А.М. Генкин, В.К. Генкина, С.А. Станкевич

Киевский политехнический институт,
252056 Киев, Украина

(Поступило в Редакцию 14 марта 1995 г.)

Карбид-кремниевые светодиоды, работающие в режиме электрического пробоя (пробойные светодиоды), благодаря широкому спектру (250–1000 нм), высокой температурной и временной стабильности, субнаносекундному быстрдействию, стойкости к температурным, химическим, радиационным воздействиям перспективны для создания на их основе эталонов мощности и спектрального состава излучения, суперскоростных калибровочных источников световых импульсов, имитаторов излучения звезд и других элементов оптоэлектроники [1–4].

Важными для использования пробойных светодиодов являются данные о предельно допустимой плотности рабочего тока при питании их в стационарном и импульсном режимах. Очевидно, это параметр зависит от длительности импульсов (относительно времени тепловой релаксации $p-n$ -перехода, составляющего, согласно нашим оценкам, для SiC величину порядка 10^{-8} с), микроплазменной структуры пробоя. Однородность и густота распределения микроплазм по площади $p-n$ -перехода зависит от особенностей технологии его изготовления, степени легирования и качества исходных кристаллов карбида кремния. Предельно допустимая плотность тока может ограничиваться разрушением $p-n$ -перехода или повышенной скоростью деградации прибора. В связи с этим значительный интерес представляют данные о нестабильности параметров пробойных светодиодов при питании их током максимально допустимой плотности.

В настоящей работе приведены результаты исследования нестабильности характеристик пробойных светодиодов в процессе длительной работы при питании их током максимально допустимой плотности.

Наиболее подходящим объектом для исследования нам представляется $p-n$ -переход малой площади по причине того, что максимально возможная плотность тока в $p-n$ -переходе достигается при сравнительно небольшом токе (до 0.1 А). При этом небольшая величина тепловой мощности, рассеиваемой на светодиоде (около 2 Вт), позволяет использовать стационарный режим питания, при котором сохраняется высокая точность измерения параметров прибора.

Исследовались пробойные светодиоды, содержащие $p-n$ -переходы, имеющие диаметр около 50 мкм [5]. Установлено, что при токе через светодиод, составляющем 0.1 А (эффективная, усредненная по площади плотность тока порядка 10000 А/см^2), вероятность его выхода из строя в результате необратимого теплового пробоя $p-n$ -перехода составляла 0.3–0.8 (для различных партий приборов). Максимальная яркость зоны излучения светодиода при этом достигала 10000 кд/м^2 . У большинства приборов, выдержавших испытания при токе 0.1 А в течение 1000 ч, квантовый выход излучения при токе, равном току наработки, сохранялся неизменным с точностью 3% в течение времени испытаний.

Для исследования деградации пробойных светодиодов при максимальной плотности тока были отобраны 14 образцов с однородной топографией пробойного свечения, без низковольтных микроплазм, излучавших при протекании тока в прямом и в обратном направлении, изготовленных на промышленных кристаллах и пленках SiC-6H с концентрацией нескомпенсированных доноров порядка 10^{18} см^{-3} . Рабочее напряжение светодиодов при токе 100 мА составляло 16–30 В.

У пробойных светодиодов контролировались прямые и обратные вольт- и ватт-амперные характеристики; относительная интенсивность излучения (по отношению к фотоэлектронному умножителю с сурьмяно-цезиевым фотокатодом) при токах 10 и 100 мА при обратном смещении $p-n$ -перехода и при токе 100 мА при прямом смещении; спектральный состав излучения (в относительных единицах) при токе 100 мА при прямом и обратном смещении $p-n$ -перехода. Время наработки составило 6000 ч.

Мощность излучения светодиодов P определялась по сигналу фотометра ФПЧ, предназначенного для измерения яркости слабых источников излучения, с учетом диаграммы направленности и спектрального состава излучения прибора. Методика определения относительной интенсивности излучения F светодиодов в процессе длительной наработки была аналогична [6]. Погрешность определения F не превышала 1%.

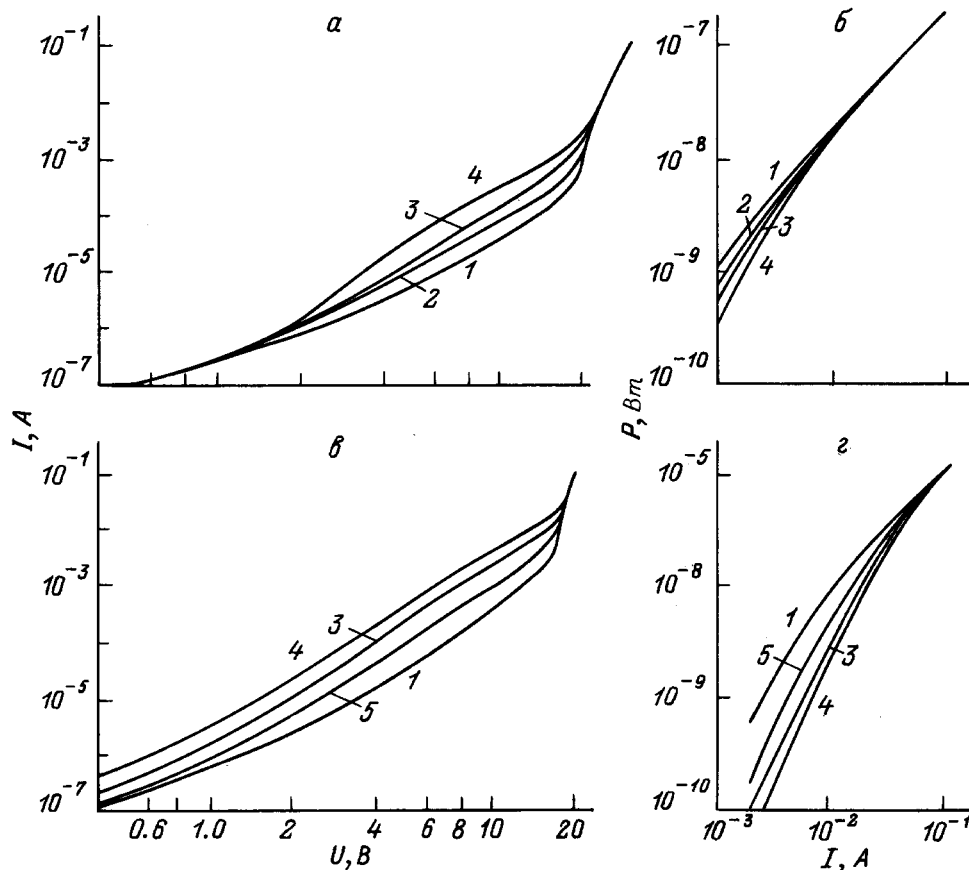


Рис. 1. Зависимость вольт-амперной (*а, в*) и ватт-амперной (*б, з*) характеристик пробойных светодиодов от времени работы при токе наработки 120 мА. *а, б* — образец 1 (типичный); *в, з* — образец 2 (с максимально выраженной деградацией); время работы, ч: 1 — 0, 2 — 134, 3 — 2110, 4 — 5607, 5 — 52.

В течение испытаний отказали 10 приборов. Установлены следующие закономерности: изменение интенсивности излучения при токе, равном току наработки, практически отсутствовало; изменение мощности P пробойного излучения светодиодов и напряжения U при постоянном токе в результате наработки происходили синхронно на начальных участках вольт- и ватт-амперной характеристик (рис. 1); величина тока, соответствующая нижней границе диапазона стабильной работы пробойного светодиода, коррелировала с величиной тока, соответствующей перегибу на вольт-амперной характеристике, предшествующему участку резкого возрастания тока; указанный перегиб связывается нами с началом ударной ионизации, производимой туннелирующими через потенциальный барьер $p-n$ -перехода электронами [7]. Деградация при заданном токе была слабо выражена, если величина тока, соответствующая перегибу на вольт-амперной характеристике, была ниже заданной величины тока не менее, чем на 1.5–2 десятичных порядка; скорость деградации была максимальна в начальный период наработки; длительность участка повышенной скорости деградации составляла в среднем 1000 ч (рис. 2); прямая вольт-амперная характеристика практически не изменялась, наблюдалось у

всех образцов лишь небольшое увеличение напряжения при постоянном токе в сотых, изредка десятых долях вольта; интенсивность инжекционной электролюминесценции у многих образцов слабо возрастала (до 30% за 6000 ч) (рис. 2); визуальным наблюдением под микроскопом установлено, что повышение тока при заданном напряжении на начальных участках вольт-амперной характеристики в процессе наработки светодиодов связано с появлением низковольтных микроплазм, проследить за эволюцией этих микроплазм с самого начала наработки не удалось; у некоторых образцов наблюдалось небольшое изменение спектрального состава пробойной и инжекционной электролюминесценции: возрос квантовый выход краевой фиолетовой полосы инжекционной электролюминесценции и пробойной электролюминесценции в соответствующей части спектра; понизился квантовый выход инжекционной и пробойной электролюминесценции в области примесных полос (рис. 3).

Для установления механизма выявленных процессов деградации требуются дальнейшие исследования. Полученные результаты позволяют сделать следующие практические выводы: предельно допустимый стационарный ток пробоя для

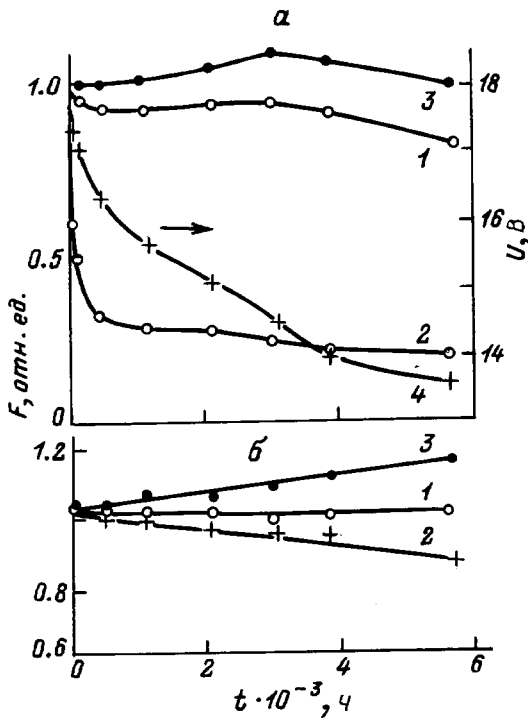


Рис. 2. Зависимость относительной интенсивности излучения (F) и напряжения (U) при постоянном токе от времени работы (t) светодиода при токе наработки 120 мА. a — образец 2, b — образец 1; ток через светодиод, мА: 1 — 100; 2, 4 — 10; 3 — 100 (p - n -переход смещен в прямом направлении).

p - n -переходов диаметром около 50 мкм не превышает 120 мА, что соответствует усредненной по площади p - n -перехода плотности тока порядка 10^4 А/см², при этом максимальная яркость зоны свечения достигает 10000 кд/м²; вплоть до необратимого теплового пробоя p - n -перехода деградация не является препятствием для использования пробойных светодиодов в составе опорных, эталонных источников излучения; стабильность вольт- и ватт-амперных характеристик светодиодов достигается на участках развитого пробоя, удаленных на 1.5–2 десятичных порядка по току вверх от перегиба на вольт-амперной характеристике, предшествующего участку резкого возрастания тока; с целью повышения стабильности полезным является остаривание приборов в течение времени около 1000 ч; высокая стабильность вольт-амперной характеристики пробойных светодиодов в процессе наработки позволяет не использовать режим жесткой стабилизации тока, обеспечить который в режиме питания приборов мощными, короткими импульсами тока представляется практически невозможным, т. е. пробойный светодиод является стабильной нагрузкой для импульсных формирователей тока; для установления возможности использования пробойных светодиодов в составе эталонов спектрального состава излучения, особенно при максимальной токовой нагрузке, требуются дополнительные исследования.

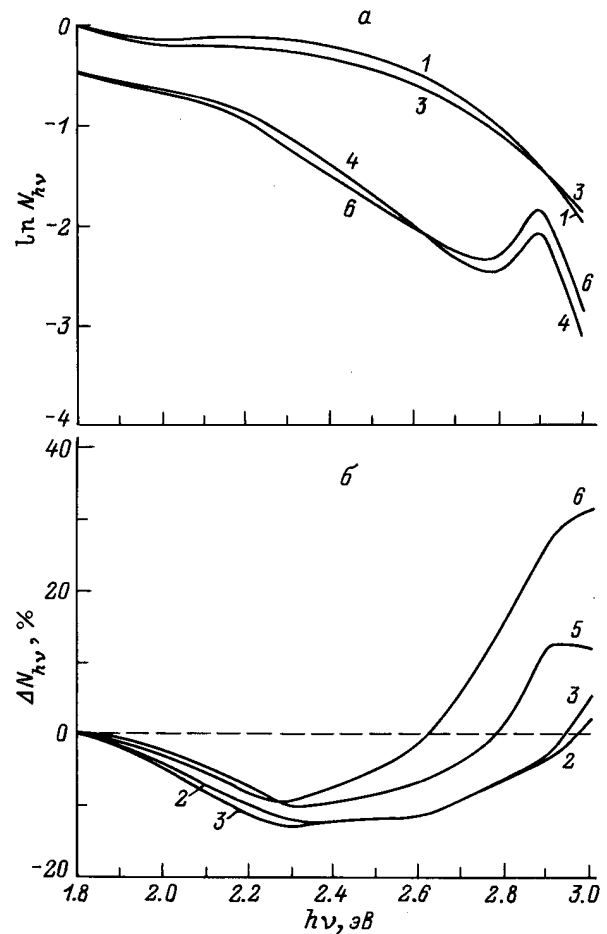


Рис. 3. Зависимость распределения фотонов по энергиям (a) и относительного изменения спектральной плотности излучения (b) для светодиода 1 от времени работы при токе наработки 120 мА. Прямое смещение p - n -перехода (4–6); обратное смещение (1–3). Ток через светодиод, мА: 1–3 — 75, 4–6 — 100. Время работы, ч: 1, 4 — 0; 2, 5 — 3819; 3, 6 — 5607.

Список литературы

- [1] Шемякин В.А., Баранов В.К., Косяченко Л.А. и др. // ОМП. 1979. № 9. С. 39–42.
- [2] Гуц В.В., Косяченко Л.А., Пивовар А.В. и др. // Проблемы физики и технологии широкозонных полупроводников. Л., 1980. С. 340–345.
- [3] Алтайский Ю.М., Генкин А.М. // ЖТФ. 1982. Т. 52. Вып. 3. С. 543–545.
- [4] Плаудис А.Э., Лимеж Г.К., Генкин А.М. и др. // Методы и аппаратура для физических исследований. Рига, 1989. С. 70–82.
- [5] Алтайский Ю.М., Авраменко С.Ф., Генкин А.М. и др. // ПТЭ. 1986. № 2. С. 245.
- [6] Генкин А.М., Генкина В.К., Огнева Л.Г. // Диэлектрики и полупроводники. 1987. № 32. С. 81–84.
- [7] Алтайский Ю.М., Генкин А.М., Генкина В.К. и др. // Электронная техника. Сер. 2. 1987. № 4 (190). С. 76–78.