

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ИНЖЕКЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

Д. В. Балохонов, С. П. Сернов, Т. В. Колонтаева

Белорусский национальный технический университет

Мощные светодиоды являются перспективными источниками света, обеспечивающими высокую световую эффективность, что предопределило их широкое применение в различных приложениях с высокими требованиями по надежности и малым энергозатратам. Однако сила света мощных светодиодов зависит от тока инжекции, причем для обеспечения постоянной силы света требуется обеспечить эффективный теплоотвод и стабилизацию тока через светодиод.

Управление светодиодами возможно постоянным или импульсным токами, в последнем случае неизменным поддерживается действующее значение тока инжекции. Однако в обоих случаях в излучающей структуре протекают процессы, влияющие на световую эффективность светодиода.

При питании светодиодов постоянным током полученная экспериментально зависимость их силы света от тока инжекции имеет вид кривой с максимумом [1], в то время как существующие теории предсказывали линейный рост силы света гетероструктурных светодиодов с ростом тока инжекции: за счет явления суперинжекции при повышении тока инжекции сила света светодиода должна возрастать линейно с током инжекции. Уменьшение силы света представляет проблему при разработке светотехнических изделий, так как при выборе требуемого значения тока инжекции приходится применять специальные алгоритмы, что усложняет процесс разработки и заставляет разработчиков применять схемы питания, которые позволяют удерживать ток инжекции на предшествующем максимуму отрезке зависимости.

Причиной уменьшения силы света с ростом тока инжекции ранее считалась безызлучательная рекомбинация носителей через вторичный минимум зоны проводимости полупроводникового соединения в активной области светодиода, однако недавние исследования GaN светодиодов с несколькими квантовыми ямами [2] показывают, что при высоких уровнях инжекции возможна безызлучательная рекомбинация с участием фононов. Так, при небольших уровнях инжекции при плотности тока менее 1 А/см^2 преобладает безызлучательная рекомбинация через побочные минимумы зон полупроводника и дефекты, в диапазоне от 1 до 40 А/см^2 доминирует межзонная излучательная рекомбинация, а при достижении плотности тока более 100 А/см^2 дополнительно развиваются безызлучательные процессы, похожие на Оже-рекомбинацию с участием фононов или дефектов. В результате эффективность светодиода уменьшается при больших уровнях инжекции (рис. 1) [2].

Кроме того, определенная доля носителей заряда пролетая активную область (т. н. spillover), попадает в пограничный слой p -типа, где и рекомбинируют по безызлучательному механизму (рис. 2) [3].

Для минимизации данного недостатка рекомендуется немного уменьшить энергетический зазор между барьерами внутри активной области излучательной структуры [3].

Ранее считалось, что питание светодиодов короткими импульсами с помощью специальных драйверов позволяет избежать перегрева и повысить излучательную эффективность светодиода [4].

Однако если входное и выходное напряжение драйвера значительно отличаются, то попытки импульсного питания единичных мощных светодиодов оказываются неэффективными, поскольку короткие импульсы тока с коэффициентом заполнения менее 15 процентов не обеспечивают условия эффективной накачки светодиода и его световая эффективность уменьшается.

Это обусловлено тем, что при подаче импульсов тока, концентрация носителей заряда в активной области возрастает, и часть из них начинает рекомбинировать по излучательному механизму при условии, что скорость нарастания импульса достаточно велика, и концентрация успевает достигнуть граничного уровня, при котором уже возможна излучательная рекомбинация. При уменьшении амплитуды импульсов тока, концентрация носителей заряда уменьшается вследствие рекомбинации, и интенсивность излучения падает. Если длительность импульсов мала, а их фронты слишком круты, концентрация носителей заряда в активной зоне не достигает требуемых значений, обеспечивающих достаточную силу света светодиода. При этом действующее значение силы тока, протекающего через светодиод, обеспечивается пролетом носителей заряда через активную область с последующей безизлучательной рекомбинацией в сильнолегированных областях, температура кристалла возрастает, а эффективность светодиода уменьшается.

Для того, чтобы избежать данное негативное явление, требуется или уменьшить амплитуду входного напряжения драйвера так, чтобы она не слишком сильно отличалась от прямого напряжения на светодиоде при требуемом токе инжекции и тогда драйвер будет работать с большим коэффициентом заполнения, или увеличить частоту работы драйвера, чтобы обеспечить необходимую концентрацию носителей заряда в активной области структуры.

Таким образом, проблемы, связанные с обеспечением эффективности светодиодов при питании их как переменным, так и постоянным током, существуют и являются помехой при конструировании светотехнических изделий на светодиодах. Предложены решения, которые позволяют создать эффективные и экономичные светодиодные несменные источники света.

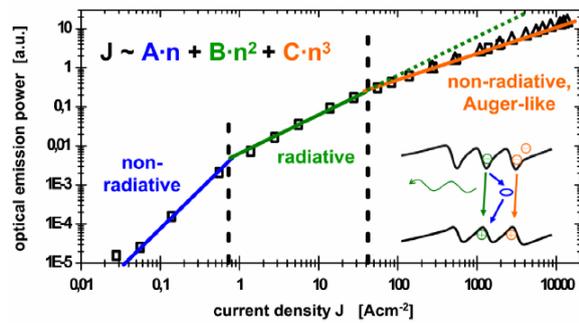


Рис. 1. Зависимость мощности излучения от плотности тока для зеленого светодиода с множественными квантовыми колодцами. Цвета показанных на врезке процессов рекомбинации соответствуют цветам линий на графике [2]

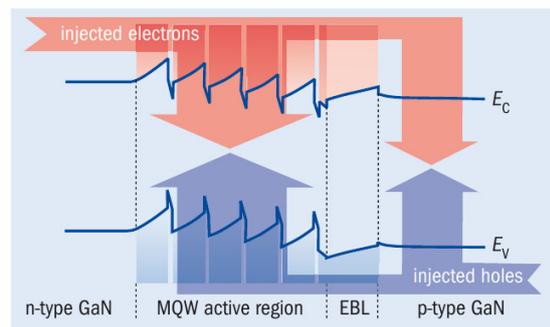


Рис. 2. Spillover (пролет) – безизлучательная рекомбинация инжектированных в структуру светодиода носителей заряда в приконтактной области кристалла [3]

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балохонов, Д. В.* Алгоритм выбора рабочего режима для светодиодных светотехнических изделий / Д. В. Балохонов, Т. В. Колонтаева С. П. Сернов // 10 том сборника трудов четвертой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 02-05.10.2007, Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А. П. Кудинова, Г. Г. Матвиенко. Санкт-Петербург, Издательство Политехнического университета, 2007.
2. *Ansgar Laubsch* Improving the high-current efficiency of LEDs/ A. Laubsch [et al.] //SPIE [Электронный ресурс]. 2007. Режим доступа: http://spie.org/documents/Newsroom/Imported/1476/1476_5485_0_2009-04-09.pdf – Дата доступа: 24.05.2010
3. *Martin Schubert* Uncovering the LED's darkest secret / M. Schubert [et al.] //Compound Semiconductor [Электронный ресурс]. 2008. Режим доступа: <http://images.iop.org/dl/compsemi/magazine/CSNov08p19.pdf> – Дата доступа: 24.05.2010
4. Application Brief AB20-4. Thermal Management Considerations for SuperFlux LEDs / LumiLeds [Electronic resource]. 2002. Mode of access: <http://www.philipslumileds.com/pdfs/AB20-4.PDF>. - Date of access: 06.05.2009