

представляет собой специализированный 8-разрядный микропроцессор, система команд которого, подобно тому, как это имеет место в архитектуре широко распространенных однокристалльных процессоров для обработки сигналов [7], оптимизирована относительно векторно-конвейерных операций (в частности, относительно операций типа свертки). Увеличение арифметической мощности в таком микропроцессоре специфично и должно обеспечивать операцию  $A \times B + C$  в поле Галуа за время порядка 100 нс. Такие арифметические средства реализуются гораздо дешевле, чем обычные АЛУ с ускоренным переносом и матричные умножители, составляющие существенную часть оборудования в современных сигнальных процессорах.

Это позволяет в кристалл объемом 15 тыс. вентиляей и на тактовой частоте 10 МГц поместить два таких параллельно и синхронно работающих АЛУ с умножителями в поле Галуа, что обеспечивает заданную стандартом производительность не только в основном режиме, но и при исправлении «стертых» байтов.

**Заключение.** Устройство КОДЕКА для МОД с многократной записью, обеспечивающее заданные стандартом [3] условия, реализовано на базе многопроцессорной системы, построенной на стандартных 8-разрядных микроконтроллерах. Дальнейшая оптимизация базового процессорного элемента системы приводит к проекту специализированной заказной СБИС доступной сложности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типикин А. П., Петров В. В., Бабанин Л. Г. Коррекция ошибок в оптических накопителях информации.—Киев: Наук. думка, 1990.
2. Блейхут Р. И. Теория и практика кодов, исправляющих ошибки.—М.: Мир, 1986.
3. Second Version of ISO/IEC DP10089: 130 mm Rewritable Optical Disk Cartridges: Document ISO/IEC JTC 1/SC 23, 29.09.89, N 283.
4. Shao H. M., Reed I. S. On the VLSI design of a pipeline Reed — Solomon decoder using systolic arrays // IEEE Trans. on Comput.—1988.—37.—P. 1273.
5. А. с. 1529213 СССР. Устройство для арифметической обработки элементов конечного поля /Н. Ф. Садыков, М. Ю. Балабаев, А. Н. Савченко.—Заявл. 10.11.87; Опубл. 15.12.89, Бюл. № 46.
6. Комплекс базовый СМ 1803: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Ч. 2: Системный интерфейс СМ1800 (И-41) 1.620.002ГО1.
7. Аппаратные и программные средства цифровой обработки сигналов // Тематический выпуск ТИИЭР.—1987.—№ 9.

*Поступило в редакцию 20 мая 1991 г.*

УДК 621.382.2

**А. И. Липтуга, В. К. Малютенко**

*(Киев)*

#### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ИСТОЧНИК ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ

Описаны параметры полупроводникового источника излучения в спектральном диапазоне  $5 \div 15$  мкм, принцип действия которого основан на модуляции теплового излучения полупроводникового кристалла за краем фундаментального поглощения. Эффект модуляции и управление параметрами излучения обеспечиваются инжекцией носителей заряда в базу германиевого диода при прямом смещении.

1. Одним из важнейших элементов оптических и оптоэлектронных систем обработки информации являются источники излучения, в качестве которых в видимой и ближней ИК-областях спектра ( $\lambda \leq 3$  мкм) чаще всего используются полупроводниковые инжекционные светодиоды. Материалом для них служат прямозонные полупроводники (в таких материалах велика вероятность междозонной излучательной рекомбинации), ширина запрещенной зоны  $E_g$  которых связана с областью излучаемых частот  $\omega$  известным соотношением  $\omega > E_g/\hbar$  ( $\hbar$  — постоянная Планка, область фундаментального поглощения) [1].

Применению барьерного принципа создания неравновесных носителей заряда в активной зоне излучателя (инжекция электронно-дырочных пар через  $p$ — $n$ -переход при прямом смещении) для генерации более длинноволнового рекомбинационного излучения препятствуют фундаментальные физические ограничения. Суть этих ограничений сводится к тому, что по мере уменьшения энергии излучаемого кванта  $\hbar\omega$ , а следовательно, и ширины запрещенной зоны используемого материала уменьшается эффективность барьерного механизма инжекции и растет вероятность безызлучательных механизмов рекомбинации. Вследствие этого инжекционные светодиоды используются для генерации излучения лишь в спектральном диапазоне частот, для которых справедливо неравенство  $\hbar\omega/kT > 1$  ( $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура), при  $T \geq 300$  К — это видимый и ближний ИК-диапазоны.

Соотношение  $\hbar\omega/kT > 1$ , в частности, налагает существенные ограничения на практическое использование светодиодов из узкозонных материалов. Так, например, светодиоды и лазеры на базе CdHgTe с областью излучения 8—14 мкм работают только при глубоком охлаждении ( $T \leq 77$  К).

В настоящей работе описываются принцип действия и параметры неохлаждаемого ИК-излучателя инжекционного типа на базе широкозонного полупроводника, спектр излучения которого находится за краем фундаментального поглощения ( $\omega < E_g/\hbar$ ,  $\hbar\omega/kT < 1$ ).

2. Как известно, природа излучения стандартных светодиодов — это электронные переходы из зоны проводимости в валентную зону прямозонного полупроводника (рис. 1, *a*). Такое излучение классифицируется как люминесценция (избыток излучения по сравнению с его равновесным значением) и не сопровождается изменением коэффициента поглощения материала  $K$  или его температуры в условиях инжекции носителей тока.

Механизм электронных переходов, ответственных за излучение в описываемом приборе, принципиально иной. Здесь излучение возникает в процессе «рассеяния» электронов в зоне проводимости — известном трехчастичном взаимодействии электрон—фонон—фотон — либо при вертикальных переходах между подзонами легких и тяжелых дырок валентной зоны (рис. 1, *b*). В обоих случаях коэффициент поглощения  $K$  для таких переходов зависит от концентрации носителей тока (электронов или дырок). Поэтому неравновесное излучение, возникающее при инжекции носителей, в этом случае следует классифицировать как тепловое излучение, соответствующее иному по сравнению с равновесным состоянию обмену энергией электронной подсистемы с решеткой (последняя в данном случае играет роль термостата с заданной температурой  $T$ ). Физика этого процесса подробно исследована в [2—4], основные рекомендации для практического использования сводятся к следующему.

Эффект модуляции теплового излучения регистрируется, если температуры полупроводника и окружающей среды  $T_c$  различны. Если  $T > T_c$ ,

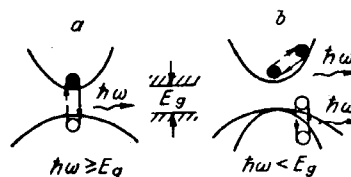


Рис. 1

условиям инжекции соответствует увеличение мощности теплового излучения (позитивный контраст), при  $T < T_c$  приемник регистрирует уменьшение сигнала (негативный контраст). Кинетика нарастающих и спадающих излучений в каждом конкретном случае может быть выполнен достаточно точно.

3. Активный элемент излучателя выполнен из  $n$ -германия ( $N_d - N_a = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) в виде цилиндра высотой 10 мм и диаметром основания 5 мм.  $P$ - $n$ -переход и омический контакт вплавлены в основания цилиндра, таким образом, излучающей является вся его боковая поверхность. Цилиндрический кристалл расположен в фокусе параболического зеркала, такая конструкция обеспечивает формирование параллельного пучка излучения и способствует максимальному его «собираению» в заданном направлении. Одним из оснований кристалл закреплен на нагревателе, температура которого может регулироваться в пределах  $300 \text{ K} \leq T \leq 450 \text{ K}$  и поддерживаться на заданном уровне с точностью до  $\Delta T \sim 0,3 \text{ K}$ . Внешний вид излучателя с параболическим зеркалом, термостатом и электронной схемой регулировки температуры изображен на рис. 2. Вес прибора 500 г. Управление мощностью излучения осуществляется напряжением  $U$  любой формы (в том числе и постоянным смещением) положительной полярности (прямое смещение) не более 2 В.

4. На рис. 3 приведены спектры теплового излучения при температуре активного элемента  $T = 330 \text{ K}$  и различных величинах прямого смещения  $U$  (кривые 2 — 4), а также спектр излучения черного тела (кривая 1). Как видим, уже при  $U = 1,4 \text{ В}$  (кривая 2) спектр излучения с точностью до поправки на отражение  $(1 - R)$  совпадает со спектром черного тела ( $3 - 0,7 \text{ В}$ ,  $4 - 0 \text{ В}$ ). При меньших напряжениях мощность излучения существенно ниже, особенности на спектральных кривых обусловлены многофононными процессами решеточного поглощения [5], а также резонансными переходами между подзонами валентной зоны [6].

Интегральная мощность излучения, по нашим оценкам, превышает  $20 \text{ мВт/см}^2$ , а основной поток, как и у черного тела, приходится на актуальный диапазон длин волн 8—14 мкм. Регулируя толщину кристалла и уровень инжекции, можно сместить положение максимума спектра в длинноволновую область ( $\lambda_{\text{max}} \leq 16 \text{ мкм}$ ), однако при этом значительно снижается мощность излучения.

Быстродействие излучателя, как сообщалось выше, определяется временем жизни носителей тока и для используемого материала составляет 16 кГц (частота модуляции, на которой амплитуда сигнала спадает до уровня 0,7 максимального значения).

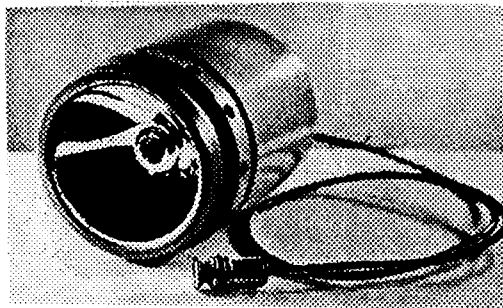


Рис. 2

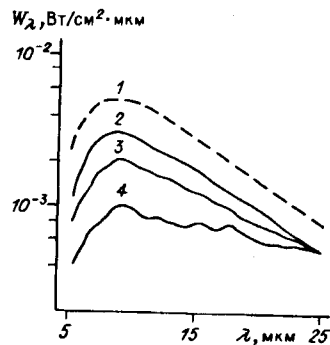


Рис. 3

Значительные потоки излучения и возможность внутренней его модуляции по заданному закону, осуществляемой слабым электрическим полем, простота изготовления и миниатюрное исполнение определяют разнообразные возможности применения описанного излучателя в оптических устройствах самого различного назначения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берг А., Дин П. Светодиоды // ТИИЭР.—1972.—60, № 2.
2. Малютенко В. К., Липтуга А. И., Моин М. Д., Тесленко Г. И. Кинетика теплового излучения полупроводников конечных размеров // УФЖ.—1985.—30, № 12.
3. Mal'yutenko V. K., Botte V. A., Chernyakhovsky V. I. Infrared emission of free carriers in semiconductors below the fundamental absorption edge // Infr. Phys.—1989.—29, N 1.
4. Mal'yutenko V. K., Liptuga A. I., Teslenko G. I., Botte V. A. Thermal emission of semiconductors under nonequilibrium conditions // Ibid.—N 2—4.
5. Оптические свойства полупроводников  $A^{III}B^V$  /Под ред. Р. Уиллардсона, А. Бира.—М.: Мир, 1970.
6. Болгов С. С., Малютенко В. К., Пипа В. И., Яблоновский Е. И. Модуляция теплового излучения полупроводников в изотермических условиях // УФЖ.—1989.—34, № 1.

*Поступило в редакцию 11 марта 1991 г.*

УДК 519.218 : 535

**В. А. Маркель**

*(Новосибирск)*

### СУБПУАССОНОВСКАЯ СТАТИСТИКА ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ СЛУЧАЙНЫХ СКАЧКОВ ПО ОКРУЖНОСТИ

Вычислен параметр субпуассоновской статистики  $\xi$  однонаправленных случайных скачков по окружности. Показано, что при определенных условиях  $\xi$  может стремиться к  $-1$ , что соответствует очень сильной антигруппировке событий. Рассматриваются приложения модели однонаправленных скачков к статистике ступенчатого возбуждения многоуровневых систем, в частности к фотонной статистике.

Рассмотренная ниже проблема случайных однонаправленных скачков возникает, в частности, при изучении ступенчатого возбуждения многоуровневых систем с последующим возвращением на основной уровень и выделением энергии (например, в виде излучения фотона). Как известно, статистика таких событий вследствие эффекта «мертвого времени» является субпуассоновской [1—3]. В работе [4] экспериментально показано, что эффект «мертвого времени» действительно приводит к субпуассоновской статистике (конкретно к антигруппировке событий).

Хотя в реальных физических системах, как правило, приходится иметь дело с движением в двух направлениях: в сторону увеличения энергии (возбуждение) и в сторону уменьшения (распад), однако мы ограничимся рассмотрением однонаправленных скачков, чтобы показать принципиальную возможность получения сильной антигруппировки событий; кроме того, поставленная задача интересна с чисто статистической точки зрения.

Пусть имеется  $L + 1$  точек на окружности, разделенных равными дугами. Пронумеруем их последовательно от нуля до  $L$ . Частица испытывает мгновенные перемещения из точки  $k$  в точку  $k + 1$  ( $k = 0, 1, \dots, L - 1$ ) и из точки  $L$  в точку  $0$ . Моменты перемещений являются случайными, при этом дифференциальная вероятность  $dp$  того, что перемещение произойдет в интервале