

06.2;12

Многоэлементные источники ИК-излучения знакопеременного контраста

© В.К. Малютенко, С.С. Болгов, О.Ю. Малютенко

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев
E-mail: malyut@isp.kiev.ua

Поступило в Редакцию 11 марта 2001 г.

Приводятся результаты тепловизионных исследований линейки источников ИК-излучения из InSn, принцип действия которых основан на возбуждении положительной и отрицательной люминесценции в условиях магнитоконцентрационного эффекта. Линейка дает возможность моделировать положительный, отрицательный либо переменный контраст эффективной температуры в спектральном диапазоне до $7 \mu\text{m}$. Показана возможность понижения эффективной температуры источников отрицательной люминесценции на 20°C при комнатной температуре. Приборы такого типа могут быть использованы в качестве ИК-мир с управляемым контрастом для калибровки оптико-электронных приборов по пространственному, температурному и временному разрешению.

Многоэлементные источники излучения на основе полупроводниковых светодиодов широко используются для отображения информации в видимом диапазоне спектра [1]. С развитием инфракрасной (ИК) техники возникла потребность в многоэлементных источниках излучения для создания пространственно неоднородных полей ИК излучения для тестирования оптико-электронных приборов, в частности тепловизоров. В [2] сообщалось о создании светодиодных линеек с длиной волны излучения до $4.7 \mu\text{m}$, работающих на принципе генерации положительной люминесценции. Однако для современной имитационной техники актуальны длинноволновые источники с большой излучающей площадкой и высокой однородностью свечения отдельных элементов, способные, кроме того, создавать положительные и отрицательные световые контрасты относительно уровня фонового излучения.

В настоящей работе описаны результаты тепловизионных исследований линейки ИК-излучателей из узкозонного полупроводника, принцип

действия которой основан на возбуждении положительной и отрицательной люминесценции в условиях магнитоконцентрационного эффекта (МКЭ). Особенностью МКЭ является возможность создания в полупроводниковой пластине, расположенной в скрещенных электрическом (E) и магнитном (H) полях областей значительного обогащения и обеднения неравновесными носителями заряда [3]. При обогащении приповерхностной области излучающей грани с малой скоростью поверхностной рекомбинации возбуждается междузонная положительная люминесценция, а при изменении направления одного из полей возле той же грани возникает область обеднения и наблюдается отрицательная люминесценция, представляющая собой дефицит излучения полупроводника относительно уровня его равновесного теплового излучения [4].

Излучающие элементы изготавливались из p -InSb с $\text{Na-Nd} = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Из тонкой ($60 \mu\text{m}$) полупроводниковой пластины с асимметрично обработанными гранями (механическая полировка и травление в СР-4) фотолитографическим методом создавалась линейка, состоящая из 16 элементов (см. вставку к рис. 1) размерами $0.5 \times 16 \text{ mm}$. Расстояние между элементами составляло 0.5 mm . Омические контакты создавались вакуумным напылением чистого In. Излучающая структура монтировалась в корпусе с окном из BaF_2 и размещалась между полюсами электромагнита. ИК-излучение линейки, работающей при комнатной температуре, регистрировалось тепловизионной сканирующей камерой в спектральном диапазоне $3\text{--}5 \mu\text{m}$ и представлялось в виде термограмм. Градуировка тепловизора осуществлялась с помощью черного тела в том же спектральном диапазоне, что давало возможность определять эффективную температуру T_1 , имитируемую линейкой. Программное обеспечение позволяло воспроизводить трехмерное изображение кадра. Изображение получалось путем вычитания кадра при выключенной линейке (значение $T_1(0)$) из кадра в момент возбуждения люминесценции (значение $T_{\text{эф}}(j)$). Нулевой уровень соответствовал уровню фонового излучения, от которого производился отсчет изменения эффективной температуры $\Delta T = T_1(j) - T_1(0)$.

Для уменьшения джоулева разогрева элементов питания линейки осуществлялось от импульсного источника тока, обеспечивающего питание в течение длительности записи одного кадра $\tau_1 = 40 \text{ ms}$. Начало записи кадра обеспечивалось системой синхронизации. Знак люминесценции определялся направлением тока в элементе. Для получения ИК картины переменного контраста напряжение питания прикладывалось

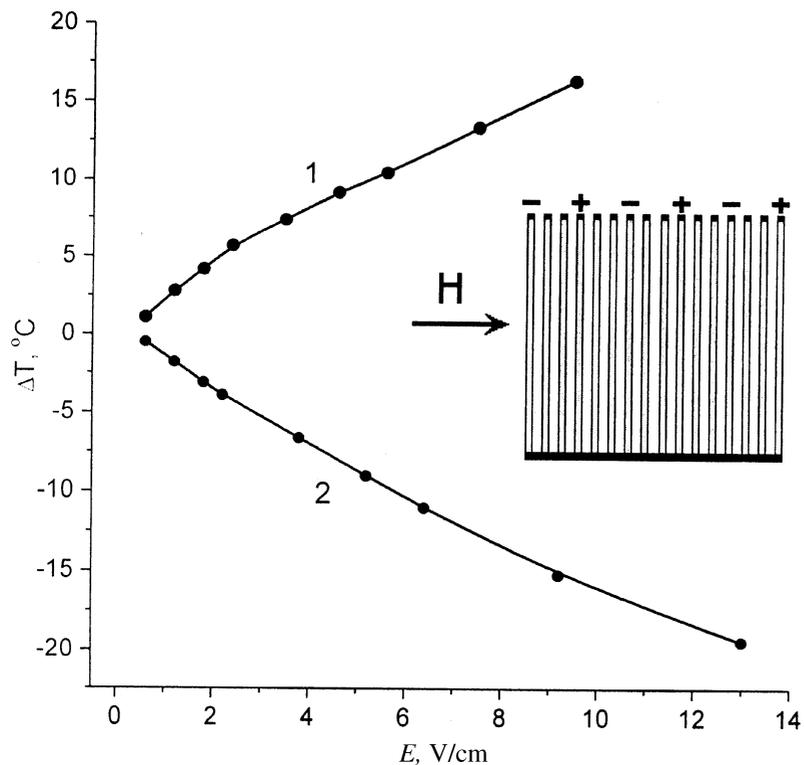


Рис. 1. Полевые зависимости эффективной температуры элементов линейки в режиме генерации положительной люминесценции (1) и отрицательной люминесценции (2). $H = 3.5$ kGs. На вставке: конструкция линейки.

таким образом, чтобы ток в каждой паре элементов имел противоположное направление (см. вставку к рис. 1). Поскольку МКЭ в выбранной конфигурации электрического и магнитного полей является нечетным по векторному произведению $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$, то на одном элементе наблюдалась положительная люминесценция, а на другом отрицательная. При изменении направления магнитного поля картина менялась на противоположную.

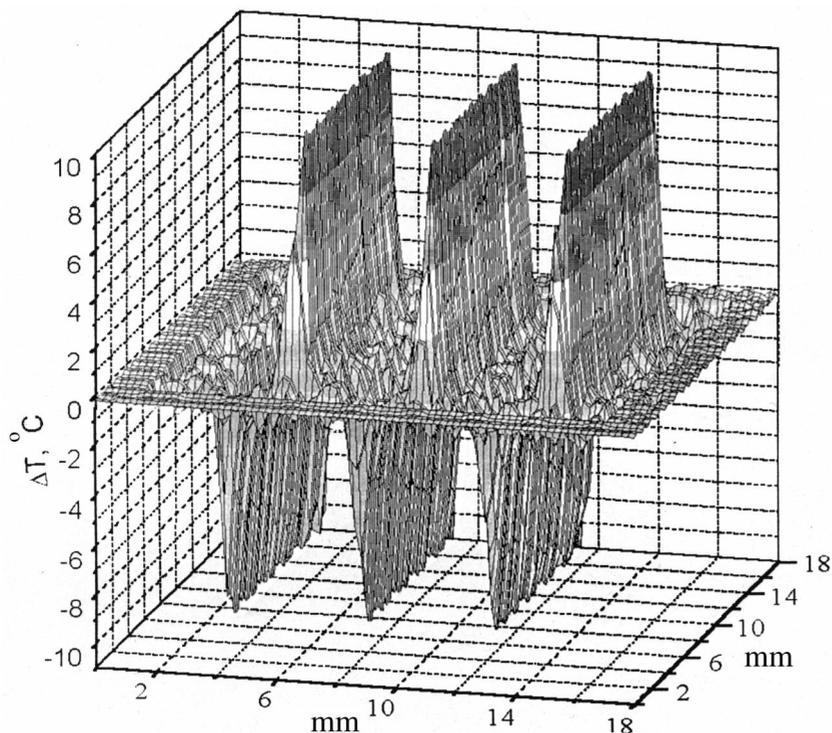


Рис. 2. Трехмерное изображение мощности излучения полупроводниковых элементов линейки в режиме генерации положительной и отрицательной люминесценции ($E = 5 \text{ V/cm}$, $H = 3.5 \text{ kGs}$, включен каждый третий элемент линейки).

На рис. 1 представлены полевые зависимости изменения эффективных температур исследуемой сцены при возбуждении положительной и отрицательной люминесценции. Положительная люминесценция, представляющая собой избыток излучения полупроводника по отношению к мощности его теплового излучения, идентифицировалась как повышение эффективной температуры излучающих элементов ($\Delta T > 0$, кривая 1), а отрицательная люминесценция — как ее понижение ($\Delta T < 0$, кривая 2). При напряженности приложенного электрического поля

13 В/см и магнитной индукции 3.5 кGs понижение эффективной температуры элемента в режиме генерации отрицательной люминесценции составило 20°С.¹ Этот результат наглядно демонстрирует возможности явления отрицательной люминесценции для подавления теплового излучения твердых тел в изотермических условиях и может быть полезен для оценки эффективности таких полупроводниковых приборов, как тепловые экраны для подавления фонового излучения в фотоприемных системах и радиационные холодильники [6,7].

На рис. 2 показано трехмерное изображение мощности излучения элементов линейки при включении трех пар элементов в режиме генерации положительной и отрицательной люминесценции. Видно, что с помощью такого устройства можно моделировать переменный контраст ИК-излучения относительно фонового излучения, имитируя горячие и холодные участки сцены.

Спектры положительной и отрицательной люминесценции определяются межзонными переходами и в InSb при комнатной температуре простираются до $\lambda = 7 \mu\text{m}$, быстрдействие — временем жизни неравновесных носителей заряда ($\tau \geq 2 \cdot 10^{-8} \text{ s}$). Следует отметить большую площадь общей излучающей площадки и высокую однородность свечения по поверхности отдельного элемента. В то же время минимальные размеры отдельных элементов линейки в пределах лимитируются только диффузионной длиной неравновесных носителей заряда, что для узкозонных полупроводников составляет всего несколько десятков микрон. Кроме того, отсутствие $p-n$ -переходов позволяет использовать для создания линеек узкозонные полупроводники, такие как $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, и при комнатных температурах перекрывать спектральный диапазон до 12 μm .

Приборы такого типа, в частности, могут быть использованы в качестве ИК-мир с управляемым контрастом для калибровки оптико-электронных приборов по пространственному, температурному и временному разрешению, а также для создания динамических сцен в ИК-диапазоне спектра.

Работа выполнена при поддержке Украинского научно-технологического центра (грант 394).

¹ Недавно в [5] сообщалось о достижении $\Delta T = -6^\circ\text{C}$ в обратносмещенных диодных структурах из InAsSbP/InAs, активных в этом же участке спектра ($\lambda = 4 \mu\text{m}$).

Список литературы

- [1] *Васерин Н.Н., Дадерко Н.К., Прокофьев Г.А.* Применение полупроводниковых индикаторов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 200 с.
- [2] *Beasley D.B., Cooper J.B., Saylor D.A.* // Proc. SPIE. 1997. V. 3084. P. 91–101.
- [3] *Welker H.* // Z. Naturforsch. 1951. V. 6a. S. 184–191.
- [4] *Болгов С.С., Малютенко В.К., Пина В.И.* // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. В. 23. С. 1444–1447.
- [5] *Adaraliev M., Zotova N.V., Karandashev S.A.* et al. // Proc. SPIE. 2000. V. 4355. P. 161–167.
- [6] *Berdahl P.* // Proc. 18 th Intern. Conf. on Phys. of Semicond. Stockholm, 1986. P. 1595–1598.
- [7] *Липтуга А.И., Малютенко В.К., Пина В.И.* и др. // ФТП. 1997. Т. 31. В. 4. С. 498–502.