

побудоване алгоритмічне і програмне забезпечення підсистеми.

3. Отримані результати дають змогу визначати кількість каналів передачі інформації між елементами системи МЕМС.

1. *Теслюк В.М.* Моделі та інформаційні технології синтезу мікроелектромеханічних систем: Монографія. – Львів : Видавництво ПП "Вежа і Ко", 2008 – 192 с.
2. *Теслюк В.М.* Методологія проектування МЕМС на системному рівні проектування // Збірник наукових праць Української академії друкарства "Комп'ютерні технології друкарства", № 18, - Львів, 2007., - С. 56 – 63.
3. *Теслюк В.М.* Застосування мереж Петрі при проектуванні МЕМС на системному рівні // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. - Львів, 2006. – № 564. – С. 45 - 53.
4. *Teslyuk Vasyk, Tarik Al Omari, Hamza Alshavabkehk, Pavlo Denysyuk, Mykhaylo Melnyk* Computer-Aided Design of MEMS at System Level // Journal Machine Dynamics Problems. - Poland, Warsaw University of Technology. - 2007., Vol. 31, No. 3 – P. 92 – 104.
5. *Теслюк В.М., Денисюк П.Ю., Хамза Алі Юсеф Аль Шавабкех, Тарік (Мох'д Тайсір) Алі Аль Омарі* Розробка математичних моделей МЕМС на основі мереж Петрі для системного рівня автоматизованого проектування // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці ім.Г.Є.Пухова НАН України. – Київ, 2008, Випуск 46. – С.120 - 126.
6. *Roman Zaharyuk, Serhiy Hrytsay, Vasyk Teslyuk, Ihor Farmaha, Andriy Kernytsky* Development of the Model of Capacity Type Accelerometer on the Basis of Petri Nets // Proc. of the X Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2009). – Lviv – Polyana, Ukraine, 2009. – P. 519 – 520.
7. *Л. Клейнрок.* Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979 - 432 с.
8. *Нотон П., Шилдт Г.* Полный справочник по Java: Пер.с англ.:–К.:Диалектика, 1997.
9. *Ивченко Г.И., Капитанов В.А., Коваленко И.Н.* Теория массового обслуживания / Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1982. — 256с.
10. *Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров* Задачи и упражнения по теории вероятностей: Учеб. пособие для студ. вузов. — 5-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 448 с.

Поступила 4.10.2010р.

УДК 621.315.592;621.382

В.И. Ирха, профессор ОНАС им. А.С.Попова, Одесса

УПРАВЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ СВЕТОДИОДА МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Annotation. We detected the magnetic field influence on emission intensity of LED. In transverse magnetic field the area of radiative recombination is displaced to small-gap region of base of variband LED. It lead to a shifting of LED's emission spectrum to a low-energy range. In magnetic field the emission intensity decreases be-

cause the injected charge carriers deviate to a surface, where the nonradiative probability increases.

Применение оптоэлектронных систем в современном приборостроении требует расширения их спектрального диапазона, достижения большой чувствительности и быстродействия, надежности элементов. Процессам, происходящим в каналах излучательной рекомбинации в соединениях АЗВ5, широко используемых в оптоэлектронике, в настоящее время уделяется большое влияние [1]. Особенное значение при этом должно иметь изучение влияния различного рода внешних дестабилизирующих факторов на характер излучательной рекомбинации. При рассмотрении большинства оптоэлектронных датчиков в качестве чувствительного элемента может быть либо светодиод, либо световод, либо фотоприемник. Однако при передаче информации по световоду реальный интерес представляет лишь использование в качестве чувствительного элемента светодиода. Поэтому изучение влияния магнитного поля по характеристикам *p-n*-переходов светоизлучающих диодов является актуальной задачей, практически не исследованной.

В данной работе исследовалось два типа образцов светоизлучающих диодов на основе полупроводников группы АЗВ5. В первом типе в качестве подложки использовался GaAs, на которую эпитаксиально наращивался излучающий *p*-слой $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As:Ge}$ и инжектирующий *n*-слой $\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y\text{As:Te}$, где $x = 0,5 - 0,6$ и $y = 0,22 - 0,25$. Толщины излучающего и инжектирующего слоев составляли соответственно 4,9 и 11,2 мкм, сечение кристалла 500x500 мкм, рабочий ток -10 мА. Излучение выводилось через *n*-область, перпендикулярно плоскости *p-n*-переходов. Вольтфарадные характеристики *p-n*-переходов соответствовали линейному распределению нескомпенсированных примесей вблизи *p-n*-перехода с градиентом концентрации порядка 10^{21} см^{-4} . Структуры помещались в медный корпус и герметизировались эпоксидной смолой. Методика измерений описана в работе [2]. Магнитное поле было направлено перпендикулярно движению инжектированных из *n*-эмиттера носителей заряда.

При воздействии магнитным полем на исследованные гетероструктуры оставались неизменными прямые и обратные вольтамперные характеристики, наклоны ваттамперных и ваттвольтовых характеристик электролюминесценции. Не изменяются в магнитном поле положение максимума и полуширина полосы люминесценции. Это свидетельствует об отсутствии влияния магнитного поля на механизм излучательной рекомбинации исследованных структур.

Включение светодиода в прямом направлении приводит к инжекции электронов из *n*-области в *p*-область, где они излучательно рекомбинируют. Помещение светодиода в поперечное магнитное поле приводит к искривлению траектории инжектированных носителей. Угол φ , на который инжектированные носители отклоняются от направления электрического поля определяется как

$$\text{tg}\varphi = \mu B, \quad (1)$$

где μ – подвижность носителей; B – индукция магнитного поля.

Откуда $\varphi = \arctg\mu B$. В оптимальном случае длина излучающей области $W = L \cos\varphi$ или

$$W = L \cos(\arctg\mu B), \quad (2)$$

где L – длина диффузионного смещения. Для исследованных в работе структур длина базы W была меньше длины диффузионного смещения инжектированных носителей заряда L . В этом случае излучательная рекомбинация происходит во всей базе, а часть носителей, дошедших до поверхности базы, из которой выводится излучение, рекомбинируют безызлучательно. Магнитное поле искривляет траекторию движения инжектированных носителей, отклоняя их от поверхности, вследствие чего их путь через излучающую p -область удлинится, что эквивалентно увеличению эффективной длины этой области. Следовательно, увеличивается часть инжектированных электронов, рекомбинирующих в излучающей области, и меньше электронов уходит через контакт. Рост L приводит к увеличению интенсивности излучения с ростом магнитного поля.

При комнатной температуре относительное изменение амплитуды излучения светоизлучающего диода (рост) в зависимости от величины поперечного магнитного поля составляет около 40% (индукция 0,4 Тл) без изменения границ спектра и положения максимума излучения.

Необходимо отметить, что при больших W в p - n -переходах будет увеличиваться лишь пассивная часть p -области, что приведет к уменьшению к.п.д. При меньших W (2) в светодиодах будет уменьшаться первоначальная интенсивность излучения (при $B = 0$), что не имеет смысла. Также скорость рекомбинации инжектированных носителей на токоподводящем контакте к излучающей области должна быть существенно больше, чем в её объёме, чтобы вблизи контакта не происходило их накопления. Если же это произойдет, то не будет изменяться эффективная длина излучающей области.

Второй тип светодиодов имел варизонную базу с уменьшающейся шириной запрещенной зоны от n -области к p -области, причем $W > L$ (рис. 1). Исследовались светодиоды на основе $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As:Si}$ ($x < 0,37$) с концентрацией Si порядка $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, изготовленные методом жидкостной эпитаксии при охлаждении. В процессе выращивания слоев с уменьшением доли алюминия уменьшается доля донорного Si и повышается доля акценторного Si. Поэтому в выращенных слоях имеется p - n -переход, n -область которого широко-зонная, а p -область узкозонная, с плавным переходом между ними. Излучательная рекомбинация происходит в основном в более узкозонной части структуры (p -области). Излучение выводилось через n -область перпендикулярно движению инжектированных носителей заряда (на рис. 1 обозначено В). Спектр электролюминесценции исследованных светодиодов содержит одну полосу с полушириной меняющейся от 0,1 до 0,4 эВ для различных образцов. Энергия максимума излучения (в зависимости от E_g в плоскости p - n -перехода) у различных светодиодов находилась в пределах 1,3 – 1,85 эВ. Полуширина полосы спектра электролюминесценции больше, чем в

гомогенных p - n -структурах из того же материала, что связано с варизонностью структуры.

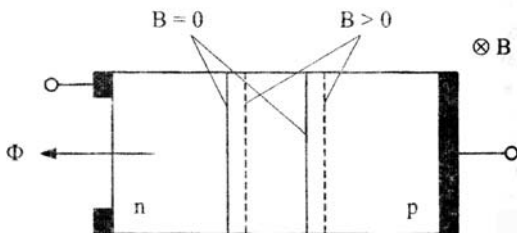


Рис. 1. Структура варизонного светодиода

При воздействии магнитного поля на такие структуры оставались неизменными электрические и электролюминесцентные характеристики. Остается практически неизменной и полуширина полосы люминесценции в магнитном поле. Изменение знака магнитного поля не влияет на изменение характеристик. Однако с ростом величины магнитного поля (при постоянной величине тока через образец) происходит сдвиг спектра электролюминесценции в сторону меньших энергий (рис. 2), что соответствует смещению рекомбинационной области в узкозонную часть базы (штриховые линии при $B > 0$ на рис. 1) и происходит уменьшение интенсивности излучения (кривая 2 на рис. 2). Причина таких изменений в следующем. В поперечном магнитном поле инжектированные носители отклоняются к боковой поверхности, вследствие чего увеличивается поверхностная рекомбинация и уменьшается интенсивность выходящего излучения. При комнатной температуре и токе 10mA изменение интенсивности составляет до 30% при магнитной индукции 0,4Тл. Сдвиг спектра излучения доходит до 10% относительно энергетического положения максимума. Исходя из обычных представлений (того, что в магнитном поле происходит уменьшение L), спектр излучения должен становиться уже. Однако эксперименты показывают, что полуширина спектра излучения в магнитном поле не меняется. Поэтому смещение электронно-дырочной плазмы в базе в магнитном поле (вдоль направления тока) вероятно связана с изменением знака биполярной подвижности, что часто наблюдается в p - n -переходах с высокоомной базой [3].

Таким образом, из представленных результатов следует, что используя светоизлучающие диоды, можно измерять величину магнитного поля по изменению интенсивности излучения. Как видно из рис. 2, зависящим от магнитного поля параметром может быть как интенсивность света так и частота излучения. А это в свою очередь определяет возможности создания оптоэлектронных магнитодатчиков. К преимуществам использования интенсивности света в качестве информативного параметра следует отнести простоту ее регистрации фотоприемником. Но при этом необходимо учитывать поглощение света при прохождении его по световоду, что приведет к определенным трудностям, особенно при переключении оптических каналов. При ис-

пользовании в качестве информативного параметра частоты излучения отпадают трудности, связанные с учетом свойств световода, но преобразование изменения частоты излучения в изменение амплитуды тока на выходе фотоприемника сложнее, чем преобразование изменения интенсивности света.

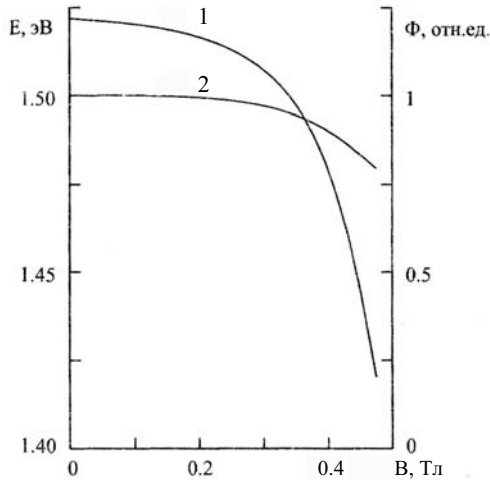


Рис. 2. Зависимости энергии в максимуме излучения (1) и интенсивности (2) от величины магнитной индукции

1. *Ирха В.И.* Влияние радиационных дефектов на характеристики $p-n$ -переходов светодиодов // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип. 54. – К.: 2009. – С. 113–118.
2. *Викулин И.М., Ирха В.И.* Магниточувствительные свойства гетеропереходов на основе $Ga_{1-x}Al_xAs$ // ФТП. – Т. 9, вып. 8, 1985. – С. 1503–1504.
3. *Викулин И.М., Стафеев В.И.* Физика полупроводниковых приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 270 с.

Поступила 6.09.2010р.

УДК 621.372

М.О.Нікулін

РОЗРОБКА СПОСОБІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ

Функціонльний склад системи управління надійністю (SUN), порівняно є досить великий і має ряд споріднених між собою блоків. Оскільки, кожний