

А.С. Гаркавенко, М.С. Гатало, А.В. Шенелев

СВЕТОДИОДНЫЕ МАТРИЧНЫЕ ЭКРАНЫ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Преимуществами компьютерной оптики перед компьютерной электроникой являются быстрое действие, низкие энергозатраты, малые габариты. Ограничивающими факторами (по перечисленным параметрам) компьютерной электроники служат прецизионные системы визуального отображения информации.

В этой связи перспективным является использование светодиодных матричных экранов (СМЭ), в которых сканирование осуществляется за счет переключения отдельных светодиодов. Прогресс в области оптоэлектроники привел к разработкам ЭВМ и телевизионных приемников нового поколения, широко использующих полупроводниковые эпитаксиальные структу-

ры. На основе этих структур изготавливаются многоэлементные электролюминесцентные (светодиодные) экраны для отображения буквенно-знаковой, видео- и графической информации, могущие служить в качестве дисплеев ЭВМ и экранов телевизоров. В настоящее время разработаны СМЭ размером $10 \times 10 \text{ см}^2$. Такие СМЭ можно создавать на основе дискретных светодиодных монокристаллических матриц с числом излучающих элементов 32×32 или 64×64 путем установки на одну печатную плату без потери однородности строения на стыках. Достигнутый уровень развития техники и технологии позволяет рассчитывать в ближайшем будущем на создание СМЭ размером $\sim 15 \times 21 \text{ см}^2$, что значительно расширит область применения СМЭ.

Электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), газоразрядные панели, жидкокристаллические, магнитооптические, электрохимические, электрохромные индикаторы, электролюминесцентные панели и т.д. обладают целым рядом недостатков (необходимость в электронном пучке и вакууме, высокая потребляемая мощность, большая инерционность, габариты, сложность обработки сигналов, низкая эффективность и стабильность), которые устраняются использованием полупроводниковых светодиодных экранов. Такие экраны отличаются высокой надежностью, долговечностью (наработка на отказ ~10-15 тыс. ч), механической прочностью, высоким быстродействием (постоянная времени $\sim 10^{-8}$ с), имеют меньшую (в 10-20 раз) массу и потребляемую мощность, обладают хорошими яркостными характеристиками [1], высокой разрешающей способностью (от 2 до 4 светодиодов на 1 мм, то есть 2-4 штриха на 1 мм), конкурирующей с разрешающей способностью лучших ЭЛТ [2], и связанными с этим повышенным качеством изображения и контрастом. Таким образом, по своим параметрам светодиодные матричные экраны представляют наиболее предпочтительным типом устройств вывода визуальной информации в оптических компьютерах.

В эпитаксиальных p-n гетероструктурах, используемых в СМЭ, генерация неравновесных носителей заряда происходит за счет электрической инжекции электронов и дырок в область p-n-перехода. Такая инжекция носит односторонний характер (из более широкой области в узкую область) независимо от уровня легирования p и n областей [3-5], что приводит к эффективной излучательной рекомбинации. Преимуществом гетероструктур перед гомоструктурами [6] связаны также с возможностью вывода излучения от области рекомбинации к поверхности кристалла без самопоглощения, что значительно снижает потери света и плотность инжекционного тока [7,8]. Существует несколько каналов излучательной рекомбинации: межзонная рекомбинация (или рекомбинация свободных экситонов), рекомбинация из зоны проводимости или валентной зоны на мелкий или глубокий примесный уровень, донорно-акцепторная рекомбинация. Управляя излучательной рекомбинацией в полупроводнике, то есть выделяя каким-то способом этот или иной канал рекомбинации, можно было бы соответственно управлять цветом излучения, что имело бы широкую перспективу технических применений. Однако в настоящее время такое управление осуществляется только на некоторых типах светодиодов [9,10]. Существуют широкозонные полупроводниковые материалы (например, нитрид галлия GaN, цинковая обманка ZnS, окись цинка ZnO и т.д.), легируя которые различными примесями можно в результате возбуждения получить спонтанное излучение различных областей спектра (цветов) одновременно. Получив

структуру типа MIN или МДП [11], можно на основе таких материалов создать СМЭ. При изменении полярности приложенного напряжения на MIN структуре изменяется цвет излучения с фиолетового на зеленый, с желтого на красный.

Известно несколько возможных путей получения одноцветного и трехцветного (многоцветного) полупроводникового СМЭ. Остановимся на наиболее перспективных.

Одним из них является использование эпитаксиальных p-n гомоструктур арсенида галлия, легированных Ge и Si, с нанесенным на поверхность тонким слоем антистоксовского люминофора. В такой системе за счет многофотонного поглощения ИК излучение отдельных светодиодов преобразуется в видимое и создает необходимую гамму цветов. Например, фирма Bell Labs использует для этих целей люминофор фторид бария-иттрия ($BaYF_3$) [1], который дает восьмикратное увеличение светоотдачи при нанесении на GaAs и 16-кратное при нанесении на GaAsP.

Однако потери, возникающие при перекачке ИК излучения в видимое, приводят к тому, что эффективность такого преобразования оказывается чрезвычайно малой ($\sim 10^{-3}$ - 1%) [12-14]. Несмотря на это, ведутся работы по созданию более эффективных антистоксовских люминофоров.

Другим путем получения одноцветного экрана является использование эпитаксиальных p-n гетероструктур GaAs - AlGaAs и GaAs - GaAsP, технология получения которых хорошо отработана и практически используется в условиях массового производства. Эти структуры при определенном процентном содержании алюминия, фосфора и мышьяка являются прямозонными полупроводниковыми материалами и излучают в видимой области спектра красный, желтый и оранжевый цвета с квантовым выходом до 4%.

Третий путь основан на использовании MIN и МДП структур на нитриде галлия, о чем говорилось выше. Этот путь является перспективным, так как позволяет получить на одном материале почти все цвета спектра, а именно: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, красный. Кроме того, представляет интерес использование в качестве СМЭ монокристаллов CdS, так как имеются сведения о получении p-n перехода методом ионной имплантации на этом прямозонном материале. На пути создания твердых экранов стоят большие технологические трудности, вследствие чего полученные на сегодняшний день СМЭ имеют, как правило, один и максимально - два цвета. В ряде лабораторий проводятся исследования с целью разработки трехцветного (красный, зеленый, синий) СМЭ.

Для нормальной работы СМЭ необходимо оптимизировать их рабочие характеристики. Оптимизации подлежат оптические, электрические, временные (быстродействие), технологические (выбор материала,

теплоотвод и т.д.), надежность и цветовые параметры СМЭ.

Оптимальные параметры можно достичь за счет:

- повышения квантового выхода, яркости, контраста, разрешающей способности;
- улучшения электрической и оптической развязки, омичности контактов, быстродействия, теплоотвода, выбора просветляющих покрытий.

Следует отметить, что сегодня СМЭ на основе эпитаксиальных р-п структур выполняют только функцию светоизлучения, однако кроме этой функции назрела необходимость в выполнении ими некоторых других электронных функций, а именно: усиления и запоминания [15]. Для этой цели необходимо использовать структуру р-п-р-п типа. Такие структуры можно готовить методами эпитаксии, диффузии и ионной имплантации. Создание активных элементов памяти сопряжено с рядом технологических трудностей (изоляция активных элементов, электрическая коммутация и т.д.), а также ограничивает область применения СМЭ, так как приводит к снижению плотности излучающих элементов. В этой связи более перспективным является создание не электронной, а оптической памяти с использованием эффекта

бистабильности и мультистабильности [16-18], вызываемого светом матричных элементов в тонкой полупроводниковой пленке, например GaSe, покрывающей поверхность СМЭ.

Развитие молекулярной электроники [6], находящейся в стадии становления, может привести к возникновению принципиально новых экранов для отображения визуальной информации. Благодаря очень малым размерам молекулярных устройств становится возможным создать дисплеи с очень высокой разрешающей способностью. Варьируя молекулярную структуру, можно будет добиться излучения света разных цветов. Сделанные на основе молекулярных устройств дисплеи могли бы быть как традиционно двумерными, так и реально трехмерными. Последнего можно добиться, расположив молекулы в виде трехмерной матрицы, в некоторой оптически прозрачной среде, поддерживающей молекулярную структуру [19]. Однако в ближайшее время доминирующую роль пока будут играть СМЭ.

Таким образом, светодиодные матричные экраны для отображения визуальной информации найдут широкое применение в современной электронике и компьютерной оптике.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Букия И.Я., Месхи Г.И., Чиковани Р.И., Школьник А.Л. Современное состояние разработок многоэлементных матриц на светоизлучающих диодах // Зарубежная электронная техника, 1975, № 19, с. 37-56.
2. Борисюк А.А. Матричные системы отображения информации. Киев: Техника, 1980.
3. Алферов Ж.И. Полупроводниковые гетероструктуры // Физика и техника полупроводников, 1977, т. 2, № 11, с. 2072-2083.
4. Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З. и др. Инжекционная люминесценция эпитаксиальных гетеропереходов в системе GaP - GaAs // Физика твердого тела, 1967, т. 9, вып. 1, с. 279.
5. Алферов Ж.И., Андреев В.М., Корольков В.И. и др. Источники спонтанного излучения на основе структур с гетеропереходами в системе AlAs - GaAs // Физика и техника полупроводников, 1969, т. 3, вып. 6, с. 930.
6. Валиев К.А. Микроэлектроника: достижения и пути развития. М.: Наука, 1986.
7. Брагин Н.В., Бондарь С.А., Жамерко В.Н. и др. Эффекты переизлучения в многослойных гетероструктурах: 2-я Всесоюзная конференция по физическим процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Ашхабад, 1978.
8. Брагин Н.В., Бондарь С.А., Лебедев В.В. и др. Переизлучающие гетероэпитаксиальные структуры $Al_xGa_{1-x}As$ для систем передачи и отображения информации // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1979, вып. 8(134).
9. Коган Л.М., Вишневская Б.И., Ковыкин С.М. и др. Светоизлучающие диоды с управляемым цветом свечения // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1980, вып. 3(138), с. 112.
10. Любяницкая Е.Б., Сушков В.П., Титова Л.А. Полупроводниковые источники света с перестраиваемым цветом свечения: Всесоюзное научно-техническое совещание. Дальнейшее развитие оптоэлектроники. М.: Сов. радио, 1977, с. 33.
11. Демченко А.М., Кесаманлы Ф.П. Светодиоды на основе нитрида галлия // Полупроводниковая техника и микроэлектроника. Киев: Наукова думка, 1976, № 23.

12. Сушков В.П., Юрков С.И. Индикаторы на борту летательных аппаратов // Обзор по электронной технике. М., 1978, вып. 1(521). Сер. Полупроводниковые приборы, с. 67.

13. Абрамов В.С., Сушков В.П., Юрков С.И. Применение индикаторов на борту летательных аппаратов в зависимости от условий внешней освещенности // Обзор по электронной технике. М., 1978, вып. 2(531). Сер. Полупроводниковые приборы, с. 36.

14. Сушков В.П. Многоэлементные полупроводниковые индикаторы // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, вып. 3(138), 1980, с. 3-29.

15. Лебнер Е.Е. Перспективы применения электролюминесцентных твердых материалов в системах индикации: Тр. Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике, 1973, т. 61, № 7, с. 46-79.

16. Великович А.Л., Голубев Г.П., Кауфман И.Х., Лучинский Д.Г. Оптическая бистабильность и мультистабильность в трехзеркальной системе связанных резонаторов // Письма в журнал технической физики, 1987, т. 13, № 3, с. 161-165.

17. Великович А.Л., Голубев Г.П., Лучинский Д.Г. Динамика мультистабильного пропускания в кристаллах GaSe // Письма в журнал технической физики, 1986, т. 12, № 14, с. 879-885.

18. Golubev G.P., Luchinsky D.G., Velikovich A.L., Liberman M.A. Optikal Hysteresis and Multistability in a Double Resonant System with an Additional Feedback // Optics Communications, 1987, v. 62, N 4, p. 181-186.

19. Будущее технологии - молекулярная электроника // Зарубежная радиоэлектроника, 1988, № 1, с. 59-64.
