

УДК 621.382.23

И.И. Привалихин, Б.И. Авдоченко

Фотоприемник для исследования характеристик полупроводниковых светодиодов в динамическом режиме

Рассмотрена элементная база и представлены структурные схемы исследовательской установки с динамическим режимом работы. Показана возможность увеличения временного разрешения фотоприемников на основе ПЗС-матриц на несколько порядков.

Ключевые слова: ПЗС-матрица, динамические режимы работы, фотометрия, светодиоды, фотоприемник.

В течение последних десятилетий получили бурное развитие полупроводниковые источники излучения, светодиоды. Современные светодиоды отличаются миниатюрностью, прочностью, надежностью, хорошими оптическими характеристиками и высоким квантовым выходом излучения. В отличие от многих других источников излучения, светодиоды могут преобразовывать электрическую энергию в световую с КПД, близким к единице.

Для отработки технологии производства светодиодов необходимо измерять их основные характеристики: фотометрические (световые); радиометрические (энергетические); колориметрические (спектральные); гониометрические (угловые); тепловые; вольт-амперные; эксплуатационные (срок службы) [1–2].

Влияние технологии и используемых материалов на оптические и электрические характеристики излучающих диодов удобно исследовать при работе диодов в динамическом режиме. Применение динамического режима позволяет исследовать потенциальные характеристики светодиодов без разрушения структур, ускорить измерение эксплуатационных характеристик.

Целью данной работы является разработка метрологической установки для измерения оптических, вольт-амперных и тепловых характеристик излучающих диодов высокой мощности. Установка позволит в короткое время снять все характеристики полупроводниковых источников излучения в широком спектральном диапазоне. Кроме универсальности измерений, преимуществами разрабатываемой установки являются:

1. Пространственное исследование полупроводникового источника излучения. Установка позволяет благодаря большому увеличению и использованию прибора с зарядовой связью (ПЗС) просматривать кристалл излучающего диода и его отдельные участки.

2. Исследование характеристик излучающих диодов в динамическом режиме. Динамический режим позволяет снимать предельные характеристики диодов без перегрузки локальных областей кристаллов и без разрушения диода при больших токах.

3. Исследование спектра излучения диода и отдельных участков кристалла в различных спектральных областях (видимого диапазона, ближнего и дальнего инфракрасного диапазонов).

В состав установки, структурная схема которого представлена на рис. 1, входят следующие блоки:

1. Компьютер. Предназначен для обработки, хранения и отображения полученной информации и управления всей установкой.

2. Фотоприемник. Фотоприемное устройство на основе ПЗС-матрицы.

3. Импульсный коммутатор. Вырабатывает импульсы питания исследуемых полупроводниковых структур.

4. Исследуемый объект (кристалл, диод или диодная решетка).

5. Оптическая система. Предназначена для фокусировки, увеличения изображения [3].

Основой фотоприемника является чересстрочная ПЗС-матрица Kodak KAI-01050. Эта ПЗС матрица в стандартном режиме имеет время экспозиции от 1 мкс, для снятия динамических характеристик необходимо уменьшение времени экспозиции до единиц наносекунд. На основе анализа работы ПЗС-матрицы был разработан способ уменьшения времени экспозиции. Суть предложенного способа заключается в следующем.

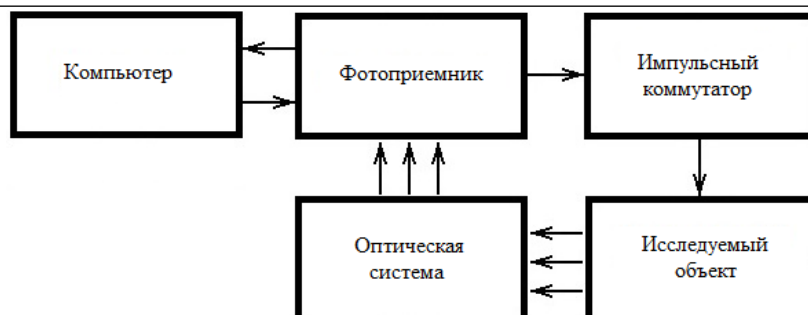


Рис. 1. Структурная схема установки для измерений параметров излучающих диодов

ПЗС-матрица состоит из поликремния, отделённого от кремниевой подложки, у которой при подаче напряжения через затворы изменяются электрические потенциалы вблизи электродов. До экспонирования происходит сброс всех ранее образовавшихся зарядов и приведение всех элементов в идентичное состояние подачей определённой комбинации напряжений на электроды. Комбинация напряжений на электродах создаёт потенциальную яму, в которой накапливаются электроны, образовавшиеся в данном пикселе матрицы в результате воздействия света при экспонировании. В чересстрочных ПЗС каждый пиксель обладает светочувствительным элементом и областью накопления заряда.

На рис. 2 показаны сигналы, которые определяют время экспозиции. Прямоугольный импульс на пьедестале сигнала P1T/B осуществляет перенос заряда из накапливающей области в область переноса заряда. Сигнал SUB служит для сброса накопленных зарядов в накапливающей области перед началом экспозиции.

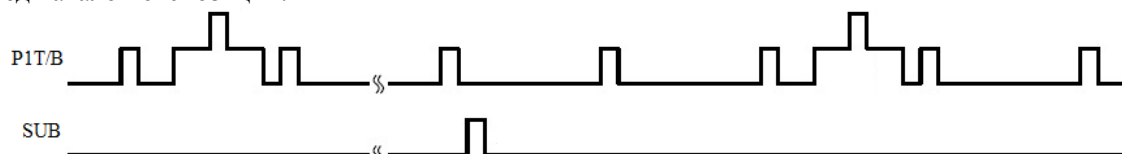


Рис. 2. Сигналы, отвечающие за экспозицию

Именно эти два сигнала отвечают за время экспозиции. Время экспозиции определяется временем между задними фронтами этих сигналов. На этом и основан способ снятия динамических характеристик с высоким временным разрешением.

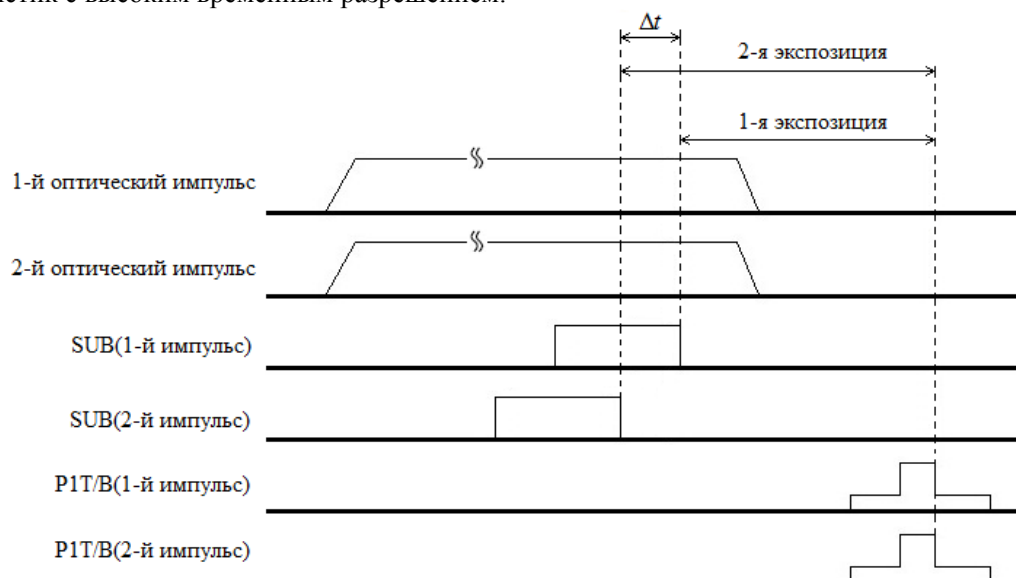


Рис. 3. Диаграмма динамических характеристик

Принцип увеличения временного разрешения следующий. Исследуется периодический процесс измерения оптического импульса, генерируемого источником излучения. Накопленный заряд в ПЗС является интегральной величиной, время экспозиции относительно оптического импульса изменяется в соответствии с рис. 3. В данном примере приводятся две разные экспозиции, отлича-

шеся на Δt . Полученные результаты являются интегральной величиной и разность между ними равна экспозиции за время Δt . В результате появляется возможность просмотреть изменения в изображениях в ПЗС-матрице с дискретными отсчетами в Δt .

Для обеспечения предлагаемого технического решения увеличения временной разрешающей способности фотоприемника оптического диапазона была разработана структурная схема, представленная на рис. 4.

Фотоприемник содержит следующие блоки:

1. PHY Gigabit Ethernet – микросхема физического уровня гигабитного Ethernet. Осуществляет связь с компьютером.
2. МК – микроконтроллер. Предназначен для конфигурации и управления всей системы.
3. DDR-память. Необходима для хранения и обработки фотоизображений. Чтобы развязать операции чтения и записи фотоизображений, используются две микросхемы памяти, что увеличит скорость работы устройства.

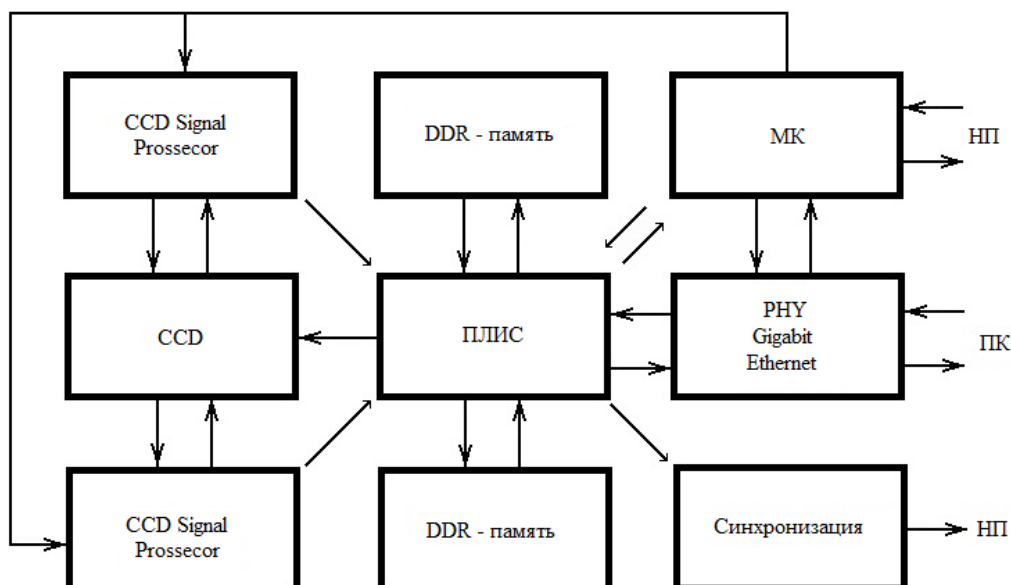


Рис. 4. Структурная схема фотоприемника

4. CCD Signal Processor – специализированная микросхема для работы с ПЗС-матрицей. Осуществляет генерацию необходимых сигналов для ПЗС-матрицы (вертикальная и горизонтальная синхронизации) и также производит оцифровку аналогового сигнала с ПЗС-матрицы. Так как ПЗС-матрица четырехканальная, используются два 2-канальных сигнальных процессора.

5. ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема. Осуществляет основную работу устройства: работа с CCD-процессорами, DDR-памятью, с Ethernet, с МК и синхронизация всей системы. В данном фотоприемнике используется ПЛИС фирмы Altera Cyclone III.

6. CCD – ПЗС-матрица.

7. НП – нижняя плата с полупроводниковым излучателем и его драйвером [4].

Рассмотрим методы исследования характеристик с помощью метрологической установки.

1. Фотометрические (световые) характеристики.

Фотометрические характеристики получают с помощью фотоприемника видимого диапазона на основе ПЗС-матрицы. ПЗС-матрица калибруется относительно эталонного источника света (по силе света, световому потоку, освещенности, яркости), и информация основных характеристик эталонного источника сохраняется в памяти компьютера. Дальнейшие измерения исследуемых кристаллов производятся относительно эталонного источника.

2. Радиометрические (энергетические) характеристики.

Радиометрические характеристики получают с помощью отдельного измерения оптической мощности фотоприемником на основе ПЗС-матрицы на различных участках спектра.

3. Колометрические характеристики.

Колометрические характеристики получают с помощью фотоприемника на основе ПЗС-матрицы со встроенным RGB-фильтром Байера. По величине светового потока на основных спектральных составляющих определяется колометрия диода.

4. Гониометрические (угловые) характеристики.

Гониометрические характеристики получаются перемещением исследуемого излучающего объекта относительно неподвижного фотоприемника.

5. Тепловые характеристики.

Тепловые характеристики кристалла и его отдельных участков снимаются с помощью инфракрасной (ИК) ПЗС-матрицы с длиной волны регистрируемого излучения 8–12 мкм.

6. Вольт-амперные характеристики.

Вольт-амперные характеристики определяются путем измерения входного напряжения, входного тока, выходного напряжения и выходного тока с помощью АЦП.

7. Эксплуатационные характеристики.

Нарушение теплового режима, работа участков $p-n$ -перехода с температурой, близкой к максимальной, приводит к быстрому старению излучающих диодов и сокращению срока службы светодиода в десятки – тысячи раз. Для косвенного измерения эксплуатационных характеристик используется измерение температуры отдельных участков кристаллов с помощью ИК-ПЗС-матрицы и контроля формы оптического импульса [5].

Использование фотоприемника для снятия оптических и динамических характеристик излучающих диодов позволит целенаправленно изменять технологические и конструктивные параметры диодов и управлять такими свойствами светодиодов, как их спектр излучения, цветовая температура, угловая диаграмма, предельная мощность [6].

Литература

1. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.

2. Измеряемые характеристики светодиодов [Электронный ресурс]. – URL: <http://zellight.ru/poleznye-stati/izmerjaemye-harakteristiki-svetodiodov> (дата обращения: 5.05.2012).

3. Привалихин И.И. Автоматизированный стенд для снятия характеристик полупроводниковых источников излучения // Научная сессия ТУСУР–2011: Матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 4–6 мая 2011 г.: в 6 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2011. – 348 с.

4. Привалихин И.И. Фотоприемник для исследования характеристик полупроводниковых источников излучения. Научная сессия ТУСУР–2012: Матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 16–18 мая 2012 г.: в 5 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2012. – 320 с.

5. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.

6. Привалихин И.И. Исследование влияния режима на характеристики ИК-диода / И.И. Привалихин, Б.И. Авдоченко, А.А. Виллисов // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Научная сессия ТУСУР-2011: Томск, 4–6 мая 2011 г.: в 6 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2011. – 348 с.

Привалихин Иван Иванович

Аспирант каф. радиоэлектроники и защиты информации (РЗИ) ТУСУРа

Тел.: +7-923-401-84-79

Эл. почта: ivan_privalihin@mail.ru

Авдоченко Борис Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. РЗИ

Тел.: (382-2) 41-33-65

Эл. почта: AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru

Privalikhin I.I., Avdochenko B.I.

Photodetector to research characteristics of semiconductor light sources in dynamic mode

In the paper an element base is considered and structural schemes of research installation with dynamic mode of operation are presented. The possibility to increase time resolution of photodetectors based on CCD arrays by orders of magnitude is shown.

Keywords: CCD, dynamical regimes of work, photometry, LED, photodetector.