

Определение характеристик тонких светодиодных пленок

Рост мирового рынка полупроводниковых светодиодов связан с развитием таких направлений, как светодиодная подсветка дисплеев и систем освещения. Основные требования, предъявляемые к светодиодному освещению, заключаются в необходимости снижения общих затрат производства, повышения эффективности и времени жизни. Светодиодное освещение уже используется в дорожных знаках, дисплеях, подсветке ЖК-дисплеев, светофоров, автомобильной приборной панели и внешнем освещении, а также для освещения архитектурных сооружений. Энергетическая эффективность светодиодов зависит от конструктивных, а в целом и от материальных свойств тонкопленочной структуры.

Эллипсометрия используется для точного определения толщины и оптических постоянных светодиодного устройства в научных и промышленных применениях. Точный контроль толщины и показателя преломления необходим для оптимизации свойств и управления качеством продукции электронной промышленности.

Принцип действия светодиодов

Полупроводниковый светодиод испускает когерентный свет в узком спектральном диапазоне при приложении напряжения в прямом направлении. Длина волны испускаемого излучения зависит от ширины запрещенной энергетической зоны (E_g) материала, используемого в активной области элемента.

Ключевая часть светодиода – р-n-переход, образованный множественной квантовой ямой и слоями, ограничивающими движение носителей. Структура светодиода, как правило, формируется на подложке с такой же, либо с похожей кристаллической решеткой, которая обладает низкой плотностью дислокаций.



Рис. 1b, Светодиод, излучающий в УФ диапазоне

Слои удержания используются для обеспечения энергетического барьера по обе стороны от ям для предотвращения переноса электронов и дырок, минуя излучательную рекомбинацию. Контакт р-типа является высокопримесным и формирует омический контакт. Большинство УФ светодиодов, основанных на III-нитрид структурах, выращиваются MOCVD методом; в меньшей степени же используются HVPE и MBE методы.

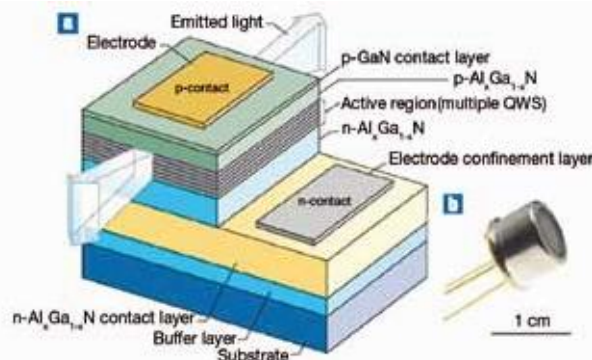


Рис. 1 А - схема типичной структуры УФ диода. В - УФ светодиод, основанный на III-нитрид полупроводнике.

Проведение исследования с помощью метода спектральной эллипсометрии

Однако, в случае III-нитрид полупроводников, сапфир (который имеет около 16% рассогласования решетки с GaN) является наиболее распространенной подложкой благодаря тому, что структуры с полным соответствием решетки не всегда доступны. Типичная светодиодная структура (рис. 1а) имеет тонкий низкотемпературный одноатомный слой (часто называемый буферным слоем) GaN или AlN, который используется для согласования решетки сапфира и контактного слоя AlGaN n-типа с последующими активными верхним и контактными слоями р-типа.

Активная область, как правило, состоит из слоев удержания n-типа и р-типа с одной или несколькими квантовыми ямами. Состав и толщины этих слоев удержания и ямы выбираются исходя из желаемой длины волны излучения.

Ниже представлены два примера, иллюстрирующие неразрушающее исследование светодиодных структур, проведенное с помощью спектрального эллипсометра HORIBA Scientific. Определение толщины и оптических постоянных были выполнены в видимом и ИК диапазоне с помощью спектральных эллипсометров UVISEL (пример 1) и Auto SE (пример 2).

Пример 1

Были проведены эллипсометрические измерения светодиодной структуры сапфир / AlN - LT / AlN - HT / AlN - LT / Al_xGa_{1-x} под углом падения 70° в спектральном диапазоне 0.6-6.5 эВ (что эквивалентно 190-2066 нм). Графики изображены ниже на рисунке 2

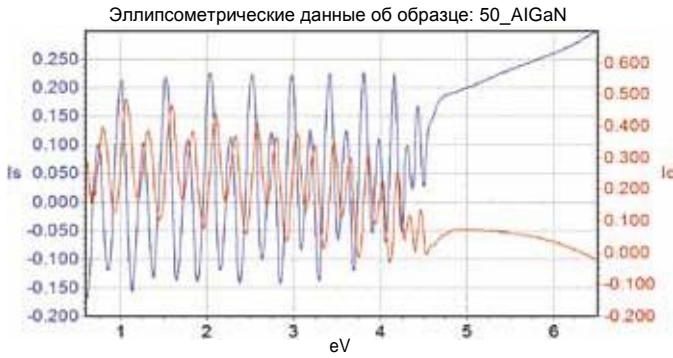


Рис. 2: Эллипсометрические измерения светодиодной структуры

Спектр можно условно разделить на две части:

- На первой части в спектральном диапазоне от 0.6 до 4.5 эВ присутствуют интерференционные полосы, соответствующие диапазону прозрачности материалов. По данным, полученным в этом спектральном диапазоне, определяется толщина пленок.

- На второй части в спектральном диапазоне от 4.5 до 6.5 эВ интерференционные полосы отсутствуют, что связано с поглощением в полупроводниковой структуре AlGaN. Поэтому этот диапазон содержит основную информацию о поверхности образца. Также по этому диапазону можно рассчитать ширину запрещенной зоны, которая, судя по графику, составляет около 4.5 эВ.

Модель, представленная на рис. 3, практически полностью соответствует экспериментальным данным, а критерий согласия χ^2 составляет 0.77 (рис. 4). Три слоя AlN были смоделированы одним слоем, так что разница в оптических характеристиках между слоями низко- и высокотемпературного нитрида алюминия слишком мала, чтобы её можно было определить с помощью эллипсометра.

Введение шероховатости поверхности через слой, состоящий из 50% $Al_xGa_{1-x}N$ и 50% пустоты, значительно улучшает значение критерия согласия χ^2 для общей модели.

Поверхностный слой	2.1 нм
$Al_xGa_{1-x}N$	570.3 нм
AlN	669.5 нм
Подложка из сапфира	330мкм

Рис. 3: Модель

В процессе подгонки модели одновременно определяются толщины и оптические константы слоев AlN и AlGaN. Оптические константы обоих материалов была определены с использованием дисперсионной формулы для осциллятора Лоренца.

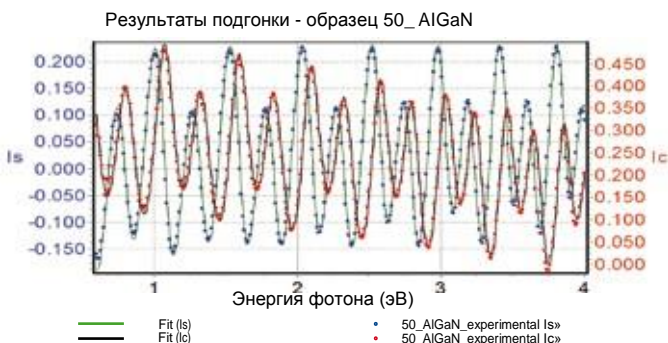


Рис. 4: Графическое представление результатов

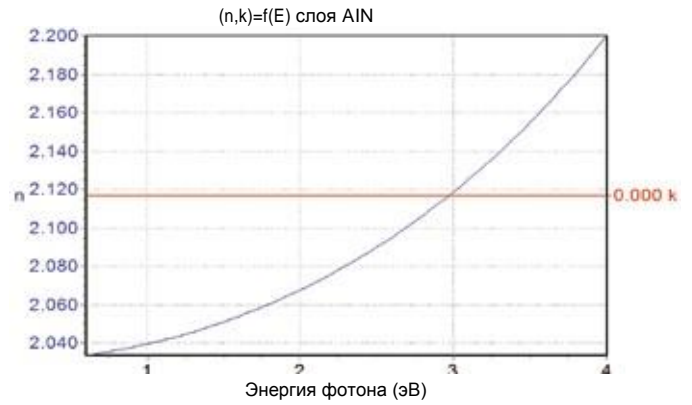


Рис. 5а: Оптические константы слоя AlN

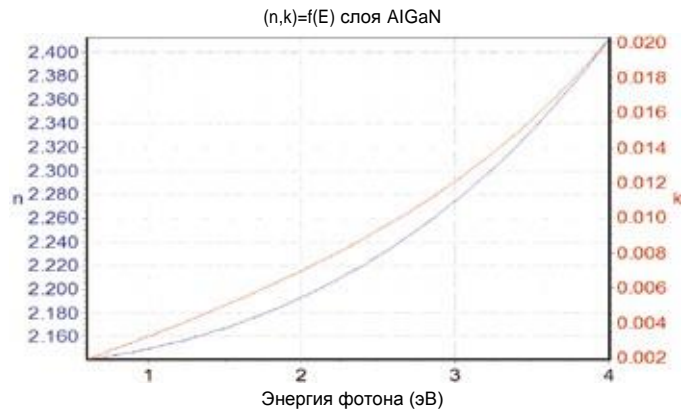


Рис. 5б. Оптические константы $Al_xGa_{1-x}N$

Пример 2

Второй пример иллюстрирует использование эллипсометрии для определения характеристик светодиода GaN, которые необходимы для проведения для контроля качества во время производственного процесса. Структура состоит из толстого слоя фоторезиста, используемого для формирования маски для травления в верхней части GaN. В результате общая структура светодиода включает в себя двойной слой фоторезиста на GaN, который нанесен на подложку из сапфира.

Для определения характеристик тонкопленочной структуры внутри шаблона использовался эллипсометр Auto SE в спектральном диапазоне 440-850 нм.

Благодаря использованию систем MyAutoView и MicroSpot, на образце можно легко найти наиболее интересное место для проведения измерения (рис. 6).

Благодаря использованию измерительного пятна размером 100x100 мкм доступно использование опции картирования для измерения характеристик различных областей в пределах рисунка. Результаты эллипсометрических измерений почти совпадают, что означает равномерное нанесение слоев.

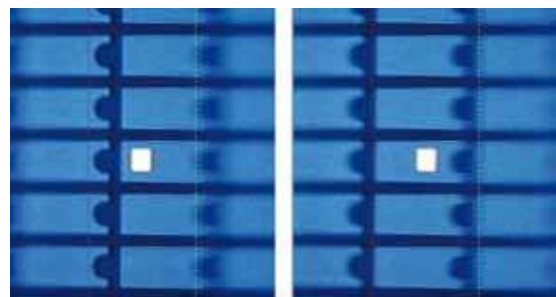
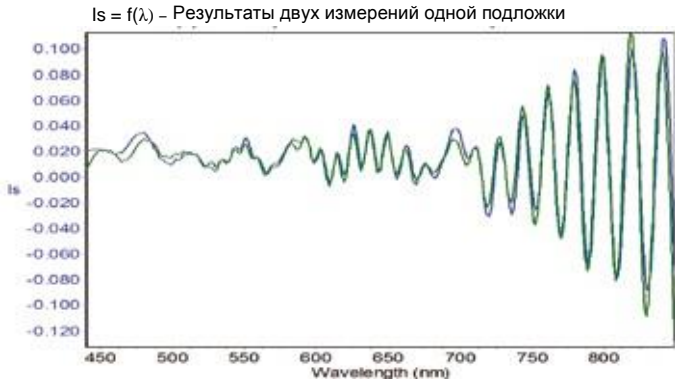
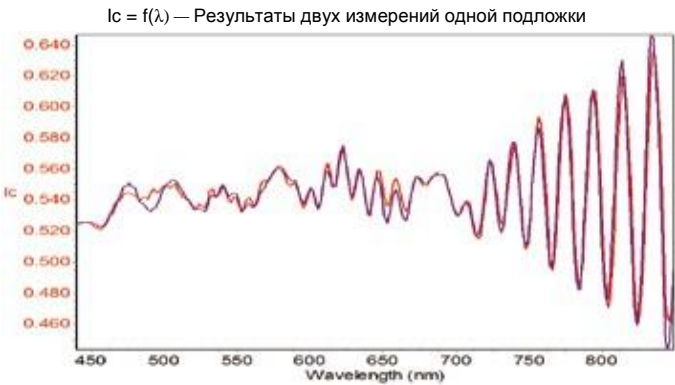


Рис. 6: Положение эллипсометрического измерительного пятна на GaN подложке



- Is - измерение 1
- Is - измерение 2



- Ic - измерение 1
- Ic - измерение 2

Рис 7: Эллипсометрические измерения одной подложки в двух разных точках

Ниже представлена модель, используемая для описания образца. Структура состоит из шероховатого слоя GaN, что моделируется с помощью двух слоев: однородный слой GaN толщиной 7200 нм с шероховатым градиентным верхним слоем толщиной 222 нм, полученным в результате смешивания GaN и фоторезиста. Над слоем GaN располагается слой фоторезиста толщиной 2.55 мкм со слоем шероховатости на поверхности толщиной 3.4 нм. Модель также учитывает анизотропию сапфировой подложки. Найденные с помощью построенной модели толщины слоев отображаются в нанометрах.

[F]	3.40	[F]PR_2.dsp	50.00 %	Void.ref	50.00 %
[E]	2049.42	[F]PR_2.dsp			
[F]	222.22	[F]GaN_2.dsp	11.85 %	[F]PR_2.dsp	88.15 %
[E]		[F]GaN_2.dsp	90.21 %	[F]PR_2.dsp	9.79 %
[F]	7199.71	[F]GaN_2.dsp			
[E]		Al2O3_E_pati.ref			
[O]		Al2O3-O_pati.ref			

Рис. 8: Рассчитанная модель

На рисунке ниже показано согласие между экспериментальными данными (точки) и соответствующей вычисленной моделью (сплошная линия) с критерием согласия $\chi^2 = 1.60$.

Соответствие эллипсометрических данных

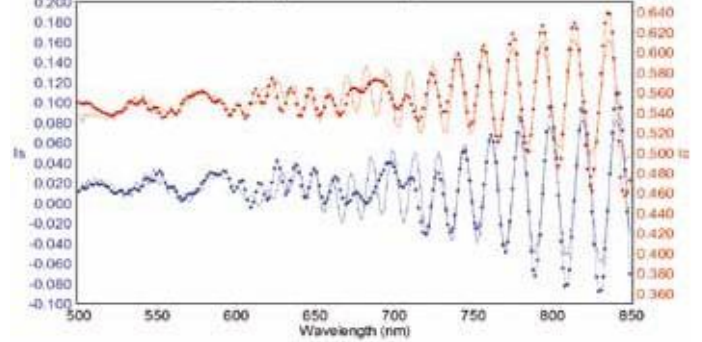
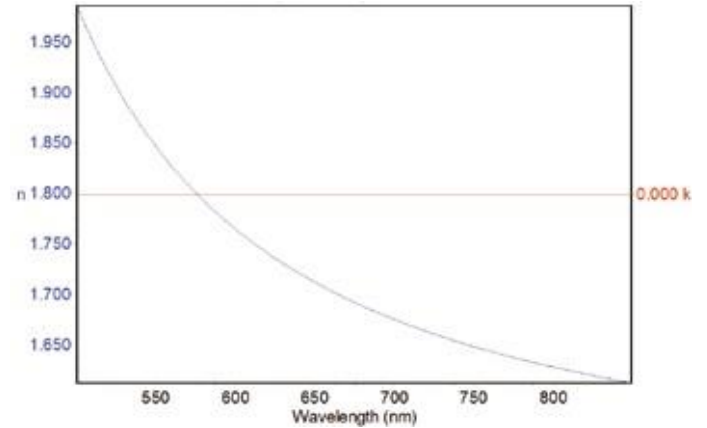


Рис. 9: Рассчитанная модель

Оптические константы слоев GaN и фоторезиста были смоделированы с использованием формулы Лоренца для одиночного осциллятора:

$$n^2 = \epsilon + \frac{(\epsilon_S - 1)\omega_t^2}{\omega_t^2 - \omega^2}$$

(n,k) = f(λ) — Оптические константы GaN



(n,k) = f(λ) - Оптические константы фоторезиста

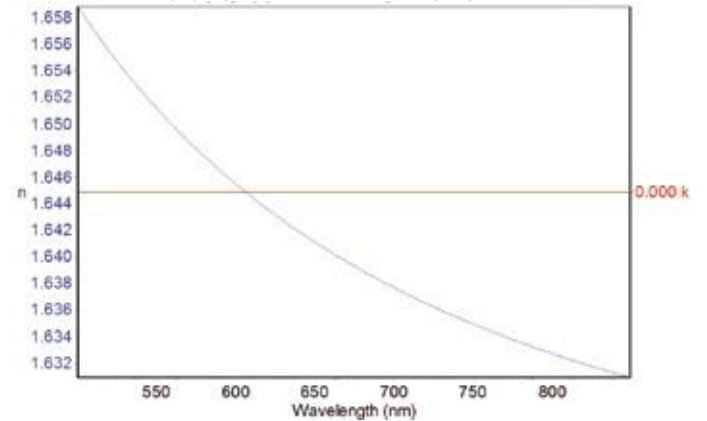


Рис. 10: Оптические константы слоев GaN и фоторезиста

Заключение

Описанные в данной статье возможности спектральной эллипсометрии идеально подходят для определения характеристик светодиодных структур, обеспечивая точную информацию о нанесенных слоях (толщина, оптические константы, ширина запрещенной зоны, однородность, шероховатость и т.д.).



Генеральный дистрибьютор в России и СНГ
 АО «Найтек Инструментс»
 Тел./факс +7 (495) 661 0681
 nytek@nytek.ru
 www.nytek.ru