

# РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

*Сизута Т.В., студент кафедры ФЭ*  
*Научный руководитель: Смирнов С.В., профессор каф. ФЭ*

## 1 Введение

Рентгеноспектральный анализ (РСА) – анализ вещества, который показывает элементный состав вещества по его рентгеновскому спектру и служит для быстрого неразрушающего контроля состава вещества. Такой анализ применяется во всех отраслях промышленности, в частности РСА имеет разнообразные области применения в микро и нанoeлектронике.

Тонкие слои диэлектриков, полупроводников и металлов в различных сочетаниях используются в микро- и нанoeлектронике при создании полупроводниковых структур. Ошибка в толщине просветляющего покрытия, составляющая одну десятую длины волны в материале, может заметно повлиять на его спектральные и другие характеристики.

Рентгеноспектральный анализ может быть использован для количественного определения элементов в материалах сложного химического состава – в металлах и сплавах, стекле, керамике, абразивах, пыли и различных продуктах химических технологий.

Важной областью применения рентгеноспектрального анализа является определение толщины покрытий без нарушения поверхности изделий. Это позволяет исследовать образец без его повреждения (к примеру, не нужно снимать нанесенную пленку с подложки). В данной работе исследуется метод определения толщины диэлектрической пленки при помощи рентгеноспектрального анализа.

## 2 Основная часть

### 2.1 Описание метода определения толщины пленки

1. С помощью формулы (2.1) рассчитаем глубину проникновения рентгеновского излучения:

$$H = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{\pi \cdot \mu}}, \quad (2.1)$$

где  $\lambda$  - длина волны излучения, м;  $\mu$  - коэффициент ослабления,  $\text{см}^{-1}$ . [1, с. 19]

Для характеристики ослабления пользуются массовым коэффициентом ослабления  $\mu_m$ .

Для сложных веществ:

$$\mu_m = \frac{1}{100} \left( p_1 \frac{\mu_1}{\rho_1} + p_2 \frac{\mu_2}{\rho_2} + \dots + p_n \frac{\mu_n}{\rho_n} \right),$$

где  $p_1, p_2, p_n$  - процентное содержание составляющих веществ в сложном веществе. [2, с. 73]

Длина волны падающего излучения зависит от энергии излучения:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E},$$

где  $h$  – постоянная Планка;  $c$  – скорость света в вакууме;  $E$  – энергия.

2. По процентному соотношению элементов образца, найдем толщину пленки. Необходимо знать состав подложки, чтобы при вычислениях не брать его во внимание.

### 2.2 Результаты вычислений

При помощи системы микроанализа Hitachi TM-1000 с рентгеноспектральным анализатором SwiftED-TM EDX, получим энергетические спектры образцов. На рисунке (1) изображен энергетический спектр образца (пленка  $\text{SiO}_2$  на подложке GaAs). Под спектром изображено процентное содержание элементов в образце.

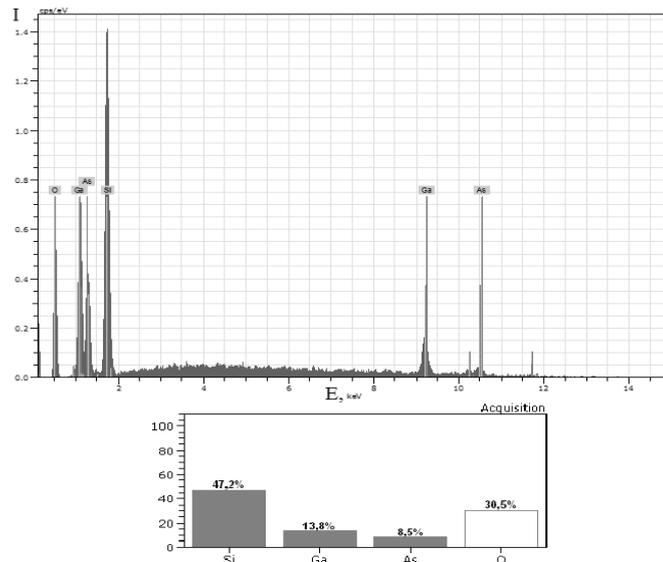


Рисунок 2.1 – Энергетический спектр образца и процентное соотношение элементов в образце (пленка SiO<sub>2</sub> на подложке GaAs)

Таблица 2.1 – Исходные данные, для определения толщины пленки

Состав пленки и подложки		$\mu, \text{см}^{-1}$	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Ti на GaAs	Ti	$1,628 \cdot 10^4$	$4,54 \cdot 10^3$
	GaAs	$4,896 \cdot 10^4$	$5,31 \cdot 10^3$
Cr на SiO <sub>2</sub>	Cr	$3,282 \cdot 10^4$	$7,18 \cdot 10^3$
	SiO <sub>2</sub>	$5,161 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^3$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> на GaAs	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$2,009 \cdot 10^3$	$3,96 \cdot 10^3$
	GaAs	$4,896 \cdot 10^4$	$5,31 \cdot 10^3$
SiO <sub>2</sub> на GaAs	SiO <sub>2</sub>	$5,161 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^3$
	GaAs	$4,896 \cdot 10^4$	$5,31 \cdot 10^3$

Достоверность метода подтверждалось путем измерения толщины пленки с помощью электроннолучевого микроскопа Raith 150 two. Пример определения толщины пленки изображен на рисунке (2.2). Определение размеров находится с помощью программного обеспечения установки.

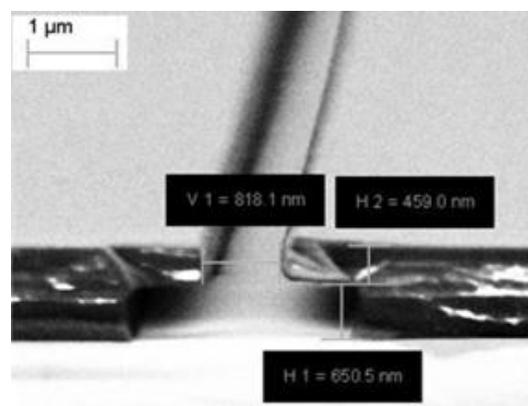


Рисунок 2.2 – Микрофотография двуслойной фоторезистивной маски с обозначением размеров слоев

Результаты измерений двумя методами представлены в таблице (2.2).

Таблица 2.2 – Результаты измерений

Состав пленки и подложки	Hitachi TM-1000	Raith 150 two
	H, нм	H, нм
Ti на GaAs	18	20
Cr на SiO <sub>2</sub>	296	300
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> на GaAs	289	300
SiO <sub>2</sub> на GaAs	488	500

При повторном исследовании пленок через промежуток времени было замечено, что содержание веществ меняет свой состав. На пленках было обнаружено процентное содержание атомов других веществ: N, C и O. Эти атомы попали на пленку из окружающей среды. Содержание посторонних веществ влияет на расчет толщины пленки. Особенно это касается образцов, в которых есть атомы выше перечисленных веществ. Следовательно, можно сделать вывод о том, что результаты анализа образцов более точны непосредственно после их изготовления. Исследование образцов через большой промежуток времени несет сравнительный характер и не может быть использован для точных расчетов.

### 3 Заключение

Данный метод показал хорошие результаты. Результаты вычислений подтвердились измерениями другим методом. На данном этапе исследования можно сделать вывод, что выбранный метод наиболее подходит для металлических пленок. Из за несоответствия стехиометрии полученных пленок, табличные значения  $\mu$ ,  $\rho$  являются не точными, по этому точность вычислений для диэлектрических пленок меньше.

При измерении толщин данным методом, нужно учитывать несколько ограничений:

1. Необходимо знать состав подложки, чтобы не учитывать содержание химических элементов материала подложки при расчетах (состав подложки можно узнать с помощью РСА).
2. Измеряемая толщина пленки ограничивается глубиной проникновения рентгеновского излучения в образец. Глубина проникновения зависит от материала образца.
3. Для более точного расчета поверхность пленок должны быть чистой. Пленки не следует хранить на открытом воздухе, под воздействием других веществ, так же трогать руками поверхность пленок.
4. Пленка должна быть однослойной. При измерении многослойных пленок, наблюдалось несоответствие толщин. Был проведен литературный обзор, согласно которому, для определения толщины многослойной пленки, необходимо использовать другую расчетную формулу.

С помощью данного метода планируется исследование многослойных пленок и гетероструктур, что позволит расширить применимость данного метода.

#### Список использованной литературы:

1. Г.В. Павлинский Преломление и отражение рентгеновского излучения. – Иркутск: ИГУ, 2003. – 47с.
2. С.В. Смирнов Методы исследования материалов и структур электроники. – Томск: ТУСУР, 2007. – 61с.