

PACS number: 07.85.Fv

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ Si-PIN
ДЕТЕКТОРА ПО ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ
АНАЛИТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ ЭТАЛОНОВ
ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ**

А.А. Мамалуй, Л.П. Фомина, А.И. Михайлов

Национальный технический университет «Харьковский
политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, 61002, Харьков, Украина
E-mail: m_if@ukr.net

Предложена простая процедура определения толщины активной области детектора, при которой в качестве известных потоков используются потоки аналитических линий флуоресцентного излучения однокомпонентных образцов при их возбуждении монохроматическим излучением вторичного излучателя. Совмещение экспериментальной и расчетной кривых зависимости интенсивности аналитических линий от длины волны позволяет определить толщину активной области $d = 170$ мкм с точностью ± 10 мкм.

Ключевые слова: РЕНТГЕНОВСКОЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ, ДЕТЕКТОР, АКТИВНАЯ ЗОНА, ВТОРИЧНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ.

(Получено 23.12.2010, в отредактированной форме – 15.01.2011)

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Твердотельные детекторы рентгеновского излучения на основе кремния нашли широкое применение в физике наноразмерных объектов благодаря высокой чувствительности и скорости определения химического состава [1]. Основным их ограничением является низкая эффективность при измерении жесткого рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda < 1,0 \text{ \AA}$ из-за слабого поглощения этого излучения в материале активной области детектора. Величина активной области, как правило, существенно меньше толщины кремниевой пластины детектора и определяется глубиной зоны легирования и условиями работы. Для проведения корректных количественных измерений в широком диапазоне длин волн необходимо знать величину активной области и вводить соответствующие поправки в измеренные интенсивности. Толщина активной области может быть определена экспериментально путем измерения известных потоков монохроматических излучений. Эта работа весьма трудоемка, так как требует перестройки рентгенооптической схемы спектрометра.

В данной работе предлагается простая процедура определения толщины активной области, при которой в качестве известных потоков используются потоки аналитических линий флуоресцентного излучения однокомпонентных образцов при их возбуждении монохроматическим излучением вторичного излучателя.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Флуоресцентное излучение однокомпонентных мишеней с атомными номерами от $Z = 27(\text{Co})$ до $Z = 42(\text{Mo})$ возбуждали излучением вторичного излучателя из особочистого серебра. Вторичный излучатель освещали спектром рентгеновской трубки БС-22 с анодом прострельного типа из серебра при напряжении $U = 35$ кВ. Регистрацию флуоресцентного излучения мишеней производили Si-pin детектором X-123 (фирмы Amptek, США) с толщиной детекторного кремния 300 мкм. Углы падения φ и выхода ψ излучения на поверхность образца соответственно составляли 52 и 70°. Интегральная нагрузка (total rate) детектора при измерениях не превышала 6000 имп/с.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Интенсивность флуоресценции однокомпонентной мишени при возбуждении монохроматическим излучением I_0 по аналогии с [2] запишется в виде

$$I_i = \frac{S}{4\pi r^2} \cdot I_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{S_{q_i}}\right) \cdot \omega_i \cdot p_i \cdot \sin \varphi \cdot \frac{1}{[1 + K(\mu_{ii}/\mu_{oi})]} = \frac{S}{4\pi r^2} \cdot I_0 \cdot R_i, \quad (1)$$

где: $S/4\pi r^2$ телесный угол освещения образца; S_{q_i} , ω_i и p_i – соответственно величина скачка поглощения, выхода флуоресценции и доля интенсивности i -ой линии в спектральной серии; μ_{oi} и μ_{ii} – массовые коэффициенты ослабления монохроматического излучения переизлучателя и выходящего из мишени флуоресцентного излучения; $K = \sin \varphi / \sin \psi$. Эффективность детектора определяется выражением [1]:

$$E_i = 1 - \exp(-\mu_{iSi} \cdot \rho_{Si} \cdot t), \quad (2)$$

где μ_{iSi} – определяет ослабление i -ой аналитической линии в материале активной зоны детектора (Si), $\rho_{Si} = 2,3$ г/см³ – плотность кремния.

При стопроцентной эффективности детектора, в соответствии с формулой (1), зависимость интенсивности аналитических линий химических элементов должна монотонно спадать с увеличением длины волны (рис. 1, кр. 1). Однако на экспериментальной кривой (рис. 1, кр. 4) наблюдается немонотонность с максимумом вблизи $\lambda \approx 1,15$ Å, которая обусловлена пролетом жесткого излучения через активную область детектора без поглощения в ней и создания импульсов тока [3]. Если бы активная область детектора простиралась на всю его толщину 300 мкм, зарегистрированная интенсивность аналитических линий чистых Mo ($\lambda = 0,71$ Å), Nb ($\lambda = 0,74$ Å) и Zr ($\lambda = 0,78$ Å) была бы в два раза больше, чем интенсивность линий меди ($\lambda = 1,54$ Å) и никеля ($\lambda = 1,65$ Å) (рис. 1, кр. 2). Максимум кривой находился бы на $\lambda = 1,0$ Å. Уменьшение толщины активной области, в соответствии с (1), приводит к уменьшению указанного соотношения и смещению максимума кривой в сторону больших длин волн (рис. 1, кр. 3). Совмещение экспериментальной (кр. 4) и расчетной (кр. 3) кривых позволяет определить толщину

активной области $d = 170$ мкм с точностью ± 10 мкм. Параметры расчета интенсивности аналитических линий однокомпонентных эталонов по формулам (1)-(2) и экспериментальные значения интегральной интенсивности $I_{\text{эксп}}$ приведены в Таблице 1.

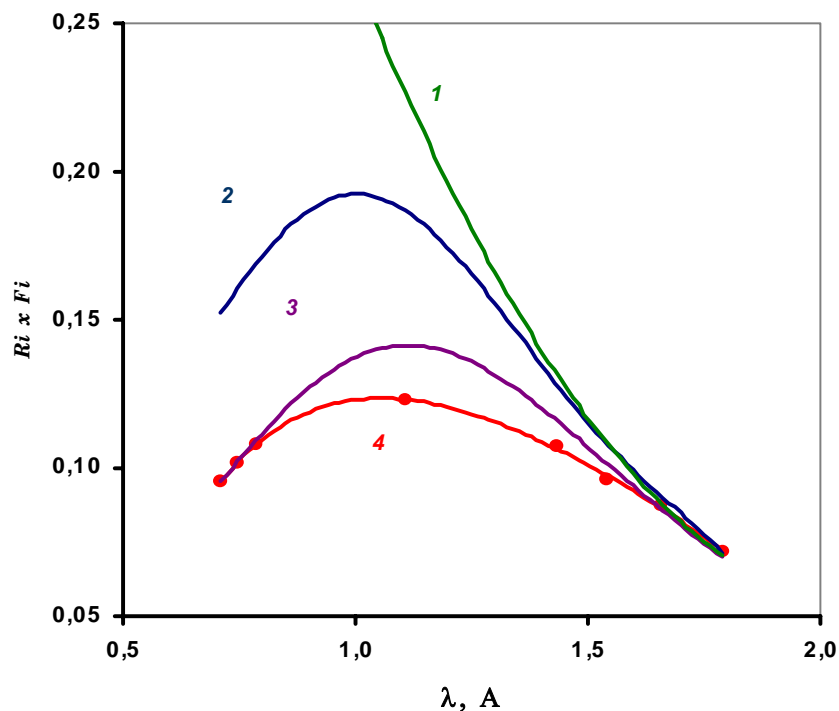


Рис. 1 – Интенсивность аналитической линии K_{α} однокомпонентных образцов в зависимости от длины волны при различной толщине d активной области Si-pin детектора. Расчетные кривые: (1) $d \rightarrow \infty$; (2) $d = 300$ мкм; (3) $d = 170$ мкм; (4) – экспериментальная кривая. Детектор X-123 фирмы Amptek (США).

Таблица 1 – Параметры расчета интенсивности аналитических линий однокомпонентных эталонов по формулам (1)-(2) и экспериментальные значения интегральной интенсивности $I_{\text{эксп}}$

Линия	λ, A	ω	S_q	$\mu_{\text{Si}}, \text{см}^2/\text{Г}$	R	$R \cdot F$ $d = 0,017$	$I_{\text{эксп}},$ ИМП
Mo- K_{α}	0,709	0,764	6,48	7,12	0,3877	0,0953	312981
Nb- K_{α}	0,746	0,748	6,55	8,2	0,3889	0,1023	333521
Zr- K_{α}	0,786	0,730	6,63	9,48	0,3490	0,1093	354530
Se- K_{α}	1,105	0,596	7,18	24,5	0,2272	0,141	403770
Ge- K_{α}	1,254	0,554	7,41	34,9	0,1814	0,1358	
Zn- K_{α}	1,435	0,479	7,67	58,0	0,1308	0,1177	352230
Cu- K_{α}	1,541	0,443	7,82	62,1	0,1076	0,0984	315002
Ni- K_{α}	1,656	0,414	7,98	76,1	0,0277	0,0881	286879
Co- K_{α}	1,789	0,366	8,13	94,1	0,0712	0,0695	236706

4. ВЫВОДЫ

Таким образом, при толщине 300 мкм кремниевой пластины детектора X-123 его активная область составляет 170 мкм. Анализ по кривой $R_i \cdot F_i$ при монохроматическом возбуждении флуоресценции однокомпонентных образцов позволяет достаточно быстро определить одну из важнейших характеристик детектора.

ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ АКТИВНОЇ ОБЛАСТІ Si-PIN ДЕТЕКТОРА ЗА ЗАЛЕЖНІСТЮ ІНТЕНСИВНОСТІ АНАЛІТИЧНИХ ЛІНІЙ ОДНОКОМПОНЕНТНИХ ЕТАЛОНІВ ВІД ДОВЖИНИ ХВИЛІ

А.О. Мамалуй Л.П. Фомина, А.И. Михайлов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, 61002, Харків, Україна
E-mail: m_if@ukr.net

Пропонується проста процедура визначення товщини активної області детектора, при якій як відомі потоки використовуються потоки аналітичних ліній флуоресцентного випромінювання однокомпонентних зразків при їхньому збудженні монохроматичним випромінюванням вторинного випромінювача. Порівняння експериментальної і розрахункової кривих залежності інтенсивності аналітичних ліній від довжини хвилі дозволяє визначити товщину активної області $d = 170$ мкм з точністю ± 10 мкм.

Ключові слова: РЕНТГЕНІВСЬКЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, АНАЛІТИЧНІ ЛІНІЇ, ДЕТЕКТОР, АКТИВНА ЗОНА, ВТОРИННИЙ ВИПРОМІНЮВАЧ.

DETERMINATION OF THE Si-PIN DETECTOR ACTIVE ZONE THICKNESS USING ANALYTIC LINE INTENSITY WAVELENGTH DEPENDENCE OF THE SINGLE-COMPONENT STANDARDS

A.A. Mamaluy, L.P. Fomina, A.I. Mikhailov

National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute"
21, Frunze Str., 61002, Kharkov, Ukraine
E-mail: m_if@ukr.net

The simple procedure of the detector active zone thickness determination is proposed, in which the fluxes of fluorescent radiation analytical lines from single-component samples excited by monochromatic radiation of a secondary radiator are used as the known fluxes. The superposition of experimental and calculated curves of the analytical line intensity versus the wavelength allows determination of the active zone thickness $d = 170 \mu\text{m}$ with an accuracy of $\pm 10 \mu\text{m}$.

Keywords: X-RAY FLUORESCENT RADIATION, ANALYTICAL LINES, DETECTOR, ACTIVE ZONE, SECONDARY RADIATOR.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. В.П. Афонин, Н.И. Комяк, В.П. Николаев, Р.И. Плотников, *Рентгенофлуоресцентный анализ* (Новосибирск: Наука: 1991).
2. Н.Ф. Лосев, *Количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ* (М.: Наука: 1969).
3. Е.М. Лукьянченко, Р.И. Плотников, *Заводская лаборатория. Диагностика материалов* **73** №12, 16 (2007).