

УДК 535-34, 539.1.06

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ SI – ФЭУ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ РАССЕЙАННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

Ермакович О.Л.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Экспериментальная проверка возможности применения кремниевых фотоумножителей в качестве детекторов рассеянного рентгеновского излучения в датчиках системы контроля поверхностной плотности листовых материалов.

**Ключевые слова:** контроль качества, листовой материал, рентгеновское излучение, Si-фэу.

## THE POSSIBILITY USING SI - PM FOR DETEKTING DIFFUSED X-RAY RADIATION IN SYSTEM OF THE CHECKING SURRFACE DENSITY OF THE SHEET MATERIAL.

Yermakovich O.

*A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems BSU  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** Experimental checking the possibility of the using the silicon photomultipliers as detector diffused x-ray radiation in sensor of the system of the checking to surrface density sheet material.

**Key words:** checking quality, sheet material, x-ray radiation, Si-pm.

*Адрес для переписки: Ермакович О.Л., ул. Курчатова, 7, Минск 220045, Республика Беларусь  
e-mail: ermakovichol@tut.by*

Посредством регистрации рассеянного рентгеновского излучения возможно проводить измерение поверхностной плотности листовых материалов разного элементного состава [1]. Данная возможность основана на том факте, что, процесс некогерентного рассеяния рентгеновских фотонов происходит на электронах атома вещества. В следствии чего интенсивность некогерентного рассеяния в первом приближении пропорциональна массе рассеивающего материала.

Требуемая точность измерений для применяемых датчиков в системах контроля качества ~ 0,1 %. При времени измерения 1 секунда. Следовательно, детектор должен регистрировать поток порядка  $10^6$  частиц в секунду. Типичное расстояние в датчиках системы контроля бумажного полотна рассеивающий материал – детектор порядка одного сантиметра. В случае суммарной площади детектора около  $1 \text{ см}^2$  обеспечивается сбор примерно 1/10 количества рассеиваемых частиц. При этом угол регистрации рассеянного излучения будет близок к оптимальному – рассеяние в обратном направлении.

Следовательно желателен применение детектора обеспечивающего регистрацию  $10^6$  частиц на  $\text{см}^2$  в секунду.

Подходящим устройством для детектирования в данном случае является сборка сцинтиллятор + кремниевый фотоумножитель. Быстродействие кремниевых фотоумножителей достигает несколько десятков пикосекунд [2, 3]. От воздействия ионизирующего излучения кремниевый фотоумножитель защищен слоем сцинтиллятора. Основную дозовую нагрузку получит сцинтиллятор.

Например для рентгеновского излучения с энергией 30 кэВ за год работы поглощенная доза составит около 100 Гр. Поток ионизирующего излучения, в случае применения сцинтиллятора CzI(Tl) толщиной 2 мм, на поверхности Si-фэу будет меньше в 3000 раз.

Одним из недостатков кремниевых фотоумножителей является сильная зависимость пробивного напряжения от температуры, что приводит к влиянию температуры на амплитуду регистрируемых импульсов. В случае регистрации излучения посредством пересчета возникающих импульсов зависимость от температуры может быть существенно снижена, особенно в случае если регистрируемое излучение имеет четкую нижнюю границу.

Для отделения жесткой части генерируемого рентгеновского излучения применяется фильтрация посредством фильтров из алюминия. Отделять жесткую часть излучения необходимо для работы в нужном диапазоне энергии фотонов, то есть в диапазоне где основным фактором является некогерентное рассеяние [1].

На рис. 1 приведен рассчитанный спектр излучения рентгеновской трубки с напряжением на аноде 28 кВ после алюминиевого фильтра толщиной 1 мм. (без учета характеристического излучения анода).

Экспериментальная проверка работы системы регистрации рассеянного излучения проведена с использованием сборки CzI(Tl)+Si-фэу. Применялся кремниевый фотоумножитель S14160- 9681 НАМАМАТСУ. Светочувствительная площадь  $6 \times 6$  мм. Пробивное напряжение 38 В. Темпера-

турный коэффициент 34 мВ на 1° С. Размер сцинтиллятора 6×6×2 мм. Светоотражающее покрытие алюминиевая фольга толщиной 12 мк.

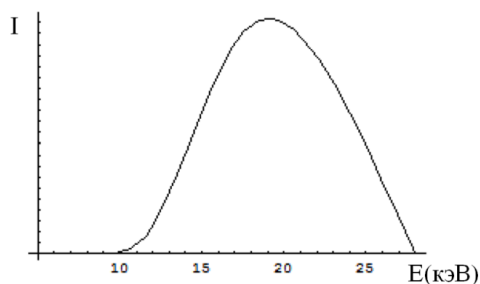


Рисунок 1 – Расчитанный спектр рентгеновской трубки с напряжением на аноде 28 кВ после фильтра 1 мм Al

Источником излучения являлась рентгеновская трубка БСВ-17. Параметры напряжения и тока рентгеновской трубки  $U = 28$  кВ,  $I = 100$  мкА. Рассеянное излучение проходило через алюминиевый фильтр толщиной 1 мм.

Выходной сигнал снимался с резистора 1 кОм подключенного к катоду Si-фэу усиливался в 200 раз операционным усилителем. Затем после формирования на RC цепочке поступал на многоканальный амплитудный анализатор АИ-1024.

В качестве рассеивающего материала использовались листы картона с поверхностной плотностью 100 г/м<sup>2</sup>. На рис. 2 приведен типичный спектр рассеянного излучения.

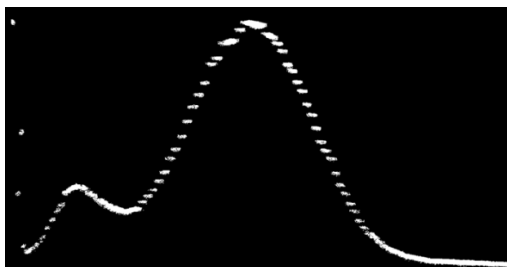


Рисунок 2 – Амплитудный спектр импульсов рассеянного рентгеновского излучения с экрана АИ-1024

Спектры снимались при двух разных напряжениях смещения:  $U_{пр} + 2,1$  В,  $U_{пр} + 3,1$  В. Что равносильно работе при постоянном смещении, но при разной в 30°С температуре. Затем производилось суммирование по всем каналам выше порога шумов Si-фэу. Порог выше которого производилось суммирование выбирался так, чтобы был выше собственных шумов Si-фэу при максимальном смещении.

**Результат проделанных измерений.** При изменении напряжения смещения на 1 В максимальная амплитуда регистрируемых импульсов увеличилась ~ в два раза. Суммарное количество регистрируемых импульсов выше постоянного порога изменилось на 2 %.

**Заключение.** Таким образом, при температурной стабилизации Si-фэу около 1° С возможно проводить регистрацию суммарных рассеянных рентгеновских фотонов с точность выше 0,1 %. Следовательно, с аналогичной точностью возможно измерение поверхностной плотности листового материала посредством сборки сцинтиллятор+ Si-фэу.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» подпрограммы «Техническая диагностика».

#### Литература

1. Василевич, Л. Н. Методика определения массы и зольности бумажного полотна посредством рассеянного и транзитного рентгеновского излучения. / Л. Н. Василевич, О. Л. Ермакович, Г. А. Лисовский / Приборостроение–2021: материалы 14 Международной науч.–техн. конф., 17–19 ноября 2021 г., Минск, Белорус. нац. техн. ун-т / Минск: БНТУ, 2021 – С. 276–277.
2. Дворников, О. В. Средства регистрации импульсного видимого излучения малой интенсивности / О. В. Дворников, В. А. Чеховский, В. Л. Дятлов / Приборы и методы измерений. – 2012. – Т. 5, № 2.
3. Кремниевый фотозлектронный умножитель. Новые возможности / С. Клемин [и др.] // Электроника: Наука. Технология. Бизнес. – 2007. – № 8. – С. 80–86.