

УДК 53.082.79

Е. С. Корляков, Институт гражданской защиты и пожарной безопасности Удмуртской Республики, Ижевск
 Е. В. Русских, Институт гражданской защиты и пожарной безопасности Удмуртской Республики, Ижевск
 С. В. Ширококов, кандидат технических наук, Удмуртский государственный университет, Ижевск

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ИСКАЖЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРА, ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКОГО ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА

Система регистрации рентгеновского времяпролетного фотоэлектронного спектрометра представляет собой коллектор в виде электрода сложной формы, усилитель, АЦП и регистрирующее устройство. Выбор данной схемы обусловлен относительно низким вакуумом (10^{-6} мм рт. ст.) в рабочей камере (исключена возможность установки фотоумножителя) и особенностью электронной оптики в полевом времяпролетном спектрометре (изохронная поверхность не сходится в точку). Схема интегрирует входной сигнал для АЦП с минимальным значением порядка 10^{-9} А. При этом становится критичным влияние шума и внешних помех на параметры входного сигнала. В статье упомянуты основные источники помех, способ защиты от них и приводится описание рентгеновской трубки, исключая возможность появления шумов.

Ключевые слова: фотоэлектронный спектр, рентгеновский времяпролетный фотоэлектронный спектрометр.

В фотоэлектронном спектрометре [1] с полевым времяпролетным энергоанализатором отсутствует система предварительного усиления сигнала, поэтому особенно важно свести к минимуму уровень электронных шумов, искажающих фотоэлектронный сигнал. Источниками шума могут служить процессы в электронной структуре образца, процессы в электронных устройствах системы регистрации, термоэлектроны, «просачивающиеся» из рентгеновской трубки, и вторичные фотоэлектроны, выбиваемые рентгеновским излучением из элементов спектрометра, и др. Учитывая особенности конструкции разработанной рентгеновской трубки, движение термоэмиссионных электронов в направлении энергоанализатора невозможно – это снижает возможность образования токового шума. Также в силу конструкции и распределения электрических потенциалов трубки все фотоэлектроны, появившиеся при возбуждении атомов вещества конструктивных элементов трубки, устремляются на анод. Таким образом, конструктивно заранее обеспечено, что в энергоанализатор направляются только фотоэлектроны, испущенные образцом.

Вторая причина возможного ухудшения регистрируемого сигнала – внешние электромагнитные возмущения. Внешнее электрическое поле не представляет опасности, так как времяпролетная труба представляет собой замкнутую металлическую поверхность. Длительность эксперимента в импульсном режиме составляет 10^{-6} с, следовательно, магнитные возмущения с частотой 10^6 Гц и менее не искажают фотоэлектронный спектр. В таком случае отпадает необходимость в громоздкой системе компенсации магнитных полей. Роль высокочастотного магнитного экрана выполняет многослойное пермал-

ловое покрытие времяпролетной трубки. Обладая высокой магнитной проницаемостью, пермаллоевые слои обеспечивают потери напряженности магнитного поля при преломлении на границе «пермаллой – воздух».

При работе трубки в статическом режиме вышеописанная система экранировки не защищает от воздействия слабопеременного и постоянного внешнего магнитного поля. Но статический режим работы рентгеновской трубки не предусмотрен для проведения процесса регистрации фотоэлектронов. Данный режим используется для снятия вольт-амперных характеристик вакуумного триода, которым является импульсная рентгеновская трубка. В работе [2] показана методика определения основных характеристик импульсного режима работы рентгеновской трубки по ее основным статическим характеристикам: эмиссионной, анодной и входной.

В точке расположения спектрометра слабопеременным магнитным возмущением является только естественное магнитное поле Земли. Максимальное значение его горизонтальной составляющей 10^{-5} Тл, вертикальной составляющей – $5 \cdot 10^{-5}$ Тл. Подобные возмущения не способны повлиять на движение термоэмиссионных электронов, ускоренных потенциалом анода (0,3...12) кВ. Поэтому для проведения экспериментов в статическом режиме работы рентгеновской трубки экранировка от внешних магнитных возмущений не требуется.

Третья причина возникновения шумовых токов в системе регистрации связана с воздействием рентгеновского излучения на стенки времяпролетной трубки и, как следствие, появлением шумовых фотоэлектронов. Для оценки такой возможности необходимо определить энергию рентгеновского

излучения после поглощения веществом общего экрана.

Разработанная рентгеновская трубка (рис. 1, 2) является рентгеновским прибором открытого типа. Катод представляет собой кольцо из спирали, выполненной из нити торированного вольфрама. Спираль закреплена на тонких металлических держателях, которые крепятся к диску из нержавеющей стали через керамические изоляторы. Один конец катода имеет электрический контакт с корпусом, второй – с подводящим электродом. Анод выполнен в виде алюминиевого цилиндра и в нижней части плотно соприкасается с алюминиевой шайбой так, что профиль соприкосновения обеспечивает тепловой контакт. Шайба соединяется с охлаждающим патрубком, по которому движется вода. Охлаждающий патрубок также является высоковольтным вводом напряжения анода.

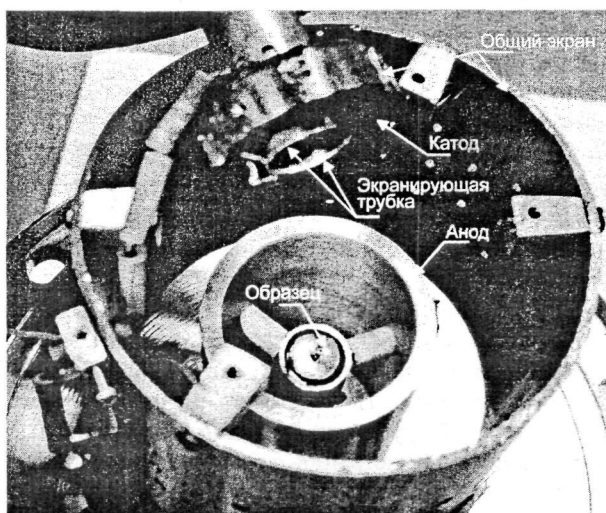


Рис. 1. Фотография узлов рентгеновской трубки

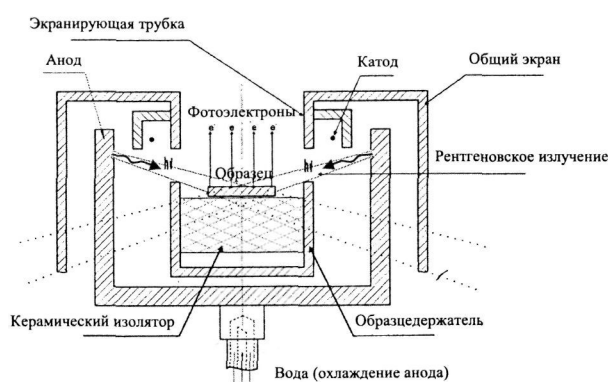


Рис. 2. Схематическое изображение в разрезе рентгеновской трубки и направления распространения рентгеновских лучей (пунктиром обозначено распространение ослабленного излучения)

Катод помещен в металлический карман, чтобы при подаче потенциала на анод и на образец сузить интервал возможных направлений вылета с катода термоэмиссионных электронов.

Образцедержатель выполнен в виде полый трубки из нержавеющей стали, внутри которой на керамическом изоляторе закреплен образец.

Катодный узел закреплен на трубке из нержавеющей стали, имеющей одинаковый с трубкой образцедержателя диаметр, служащей экраном для фотоэлектронов от электростатического поля анода. Экранирующая трубка закреплена на общем заземленном экране, изготовленном из титановой трубы и дюралюминиевого диска, имеющего выходное отверстие для фотоэлектронов. Общий экран защищает трубку от внешних электрических полей. Все элементы конструкции рентгеновской трубки осесимметричны и расположены коаксиально.

Первичное рентгеновское излучение испускается поверхностью алюминиевого анода вследствие возбуждения его падающим катодным электронным пучком, ускоренным разностью потенциалов 12 кВ. Наиболее интенсивным будет излучение K_{α} линии Al, которое используется для возбуждения атомов образца и которое может являться потенциальным источником «ненужных» фотоэлектронов.

Исходя из взаимного расположения элементов рентгеновской трубки и защитных кожухов, а также из прямолинейности прохождения рентгеновских лучей, видно, что основная часть излучения попадает на образец, поглощаясь в котором выбивает фотоэлектроны. Поглощение рентгеновских квантов для каждого образца будет изменяться, поэтому предположим, что излучение не поглощается образцом, и исследуем защитные свойства элементов рентгеновской трубки.

Энергия рентгеновского излучения суммируется из энергий отдельных рентгеновских квантов, которая составляет $\Phi = 1486$ эВ (энергия кванта излучения K_{α} линии Al):

$$E = \Phi N. \quad (1)$$

Число квантов (N) можно определить из данных о величине анодного тока и условии, что примерно 99 % числа электронов анодного тока совершают работу по нагреву материала анода, примерно 1 % порождает тормозное рентгеновское излучение, интенсивность которого сравнима с фоновой, 0,1 % – характеристическое рентгеновское излучение [3]. Также необходимо учесть, что термоэмиссионные электроны, ускоренные полем анода, обладают энергией $12 \cdot 10^3$ эВ, и для простоты расчета можно считать, что один термоэмиссионный электрон порождает 8 рентгеновских квантов с энергией $1,486 \cdot 10^3$ эВ.

Число электронов анодного тока (N_e) определяется соотношением

$$N_e = \frac{I_a}{e} 10^{-3}, \quad (2)$$

где I_a – анодный ток; e – заряд электрона.

Коэффициент 10^{-3} указывает на то, что только 0,1 % от числа электронов анодного тока порождает исследуемое рентгеновское излучение.

Число квантов рентгеновского излучения в единицу времени определяется выражением

$$N = 8N_e. \quad (3)$$

Полагая анодные токи в импульсном и статическом режимах работы равными 10^3 и $20 \cdot 10^{-3}$ А соответственно, можно определить энергию ионизирующего рентгеновского излучения в импульсном и статическом режимах работы рентгеновской трубки: $E_{\text{имп}} = 1,486 \cdot 10^3$ Дж/с, $E_{\text{стат}} = 2,97 \cdot 10^{-2}$ Дж/с.

Данными энергиями обладает рентгеновское излучение с поверхности анода. Оценим возможность появления «ненужных» фотоэлектронов вследствие воздействия рентгеновского излучения на стенки времяпролетной трубы.

Интенсивность ионизирующего рентгеновского излучения, следовательно, и его энергия после прохождения через определенный материал [3] определяется соотношением

$$E' = E \exp(-\mu \rho x), \quad (4)$$

где E – энергия падающего рентгеновского излучения; E' – энергия прошедшего рентгеновского излучения; μ – массовый коэффициент ослабления рентгеновского излучения; ρ – плотность поглощающего материала; x – глубина (толщина) слоя, через который прошло излучение.

Рассмотрим процесс поглощения рентгеновского излучения анодом. Для данного материала (алюми-

ний) параметры поглощения следующие [4]: $\mu = 422 \text{ см}^2/\text{г}$, $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$, $x = 0,3 \text{ см}$ (толщина стенки). По соотношению (4) видно, что энергия прошедшего через алюминиевый слой рентгеновского излучения уменьшается в e^{570} раз. В реальности это говорит о том, что излучение локализовано внутри рентгеновской трубки, так как оно полностью поглощается стенками анода.

Таким образом, использование данной импульсной рентгеновской трубки во времяпролетном фотоэлектронном спектрометре позволяет избежать появления фоновых шумовых токов, и при использовании пермаллоевой ленты избежать воздействия высокочастотных внешних магнитных возмущений.

Список литературы

1. Корляков Е. С., Русских Е. В., Ширококов С. В. Разработка рентгеноэлектронного спектрометра для экспресс-анализа качества укрепления поверхности деталей и конструкций // Сб. статей XX Междунар. науч.-практич. конф. «Предупреждение. Спасение. Помощь. (Современность и инновации)». – Химки : АГЗ «МЧС России», 2010.
2. Ширококов С. В. Импульсная рентгеновская трубка для 100-см рентгеноэлектронного магнитного спектрометра : дис. ... канд. техн. наук, 2003. – 115 с.
3. Быстров Ю. А., Иванов С. А. Ускорители и рентгеновские приборы. – М. : Высш. шк., 1976.
4. Блохин М. А., Швейцер И. Г. Рентгеноспектральный справочник. – М. : Наука, 1982.

E. S. Korlyakov, Institute of Civil Protection and Fire Safety of Udmurt Republic
E. V. Russkikh, Institute of Civil Protection and Fire Safety of Udmurt Republic
S. V. Shirobokov, Candidate of Technical Sciences, Udmurt State University

The Analysis of the Possible Reasons of Distortion of the Photoelectron Spectrum Received by Means of X-Ray Time-of-Flight Photoelectron Spectrometer

The system of registration of x-ray time-of-flight photoelectron spectrometer consisting of a collector which is made as an intricate shape electrode, amplifier, ADC and a registering device is presented. The selection of the given scheme is caused by rather low vacuum in the working chamber (pressure is about 10^6 Torr and a photomultiplier cannot be used) and by the specific character of electronic optics in electric-field time-of-flight spectrometer (the isochronous surface doesn't converge in a point). The scheme integrates an entrance signal for ADC with the minimum value of an order 10^9 A. In such a case the noise and external disturbances influence on parameters of an entrance signal is critical. The basic sources of disturbances, a way of protection and the interference-free x-ray tube are described.

Key words: x-ray tube, x-ray time-of-flight photoelectron spectrometer.