

Рентгеновский источник с прострельной мишенью и перестраиваемой длиной волны

Н.А. Дюжев^{1, *}, М.А. Махиборода¹, Г.Д. Демин^{1, §}

¹ Национальный исследовательский университет «МИЭТ», пл. Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498.

* djuzhev@unicm.ru, §gddemin@gmail.com

В работе описан разработанный рентгеновский источник, состоящий из тонкопленочной прострельной мишени с автоэмиссионным катодом, что позволяет получать перестраиваемую длину волны. Предложенное совмещение мишени с рентгеновским окном на кремниевой мембране облегчает миниатюризацию рентгеновского источника, а использование холодного катода повышает чистоту вакуума, обеспечивает меньшее энергопотребление и лучшее быстродействие в широком диапазоне температур. Подобные разработки ведут к созданию нового класса сканирующих и мультиспектральных микрофокусных рентгеновских источников.

Введение

В настоящее время современная геология, медицинская техника, системы безопасности, а также передовое аналитическое и технологическое оборудование ощущают острую потребность в создании портативных миниатюрных рентгеновских источников с малым энергопотреблением для оперативного анализа структуры различных объектов [1]. Данные источники позволяют реализовать высокоточную фокусировку рентгеновского излучения в широком диапазоне длин волн и в силу сверхмалой мощности являются практически безвредными для человека. Однако использование традиционного накаливаемого эмиттера в источнике может привести к быстрой эрозии термокатода в процессе его разогрева и сопутствующему загрязнению прострельной мишени. Кроме того, высокая стоимость и низкая технологичность изготовления бериллиевых рентгеновских окон побуждает к рассмотрению альтернативных конструкций. В связи с этим предлагается новая концепция рентгеновского источника с автоэмиссионным вертикальным катодом лезвийного типа, отделенным вакуумным зазором от различных типов металлической прострельной мишени, отличающихся по своему составу и расположенных на кремниевой мембране, выполняющей роль рентгенопрозрачного окна. В такой конструкции рентгеновского источника возможно направлять эмиссионный ток к заданному типу мишени, что приводит к перестройке длин волн генерируемого рентгеновского излучения. По результатам моделирования выбраны оптимальные параметры мишени, обеспечивающие предельно достижимую интенсивность рентгеновского излучения в заданном диапазоне длин волн. Разработан стенд для исследования полевой эмиссии в триодной струк-

туре рентгеновского источника, и измерены токи эмиссии катодно-сеточного узла.

Концептуальная модель структуры рентгеновского источника и измерительный стенд для снятия автоэмиссионных характеристик

При разработке миниатюрного рентгеновского источника важно подобрать оптимальную конструкцию триодной структуры, состоящую из наноразмерного катода, управляющих сеточных электродов и анодной пленки с целью получения тока эмиссии, достаточного для генерации рентгеновского излучения в прострельной мишени при сохранении минимального энергопотребления. Ранее в работе [2] было показано, что максимальное усиление электрического поля на поверхности катода достигается в конструкции с круговым сеточным электродом и вертикальной геометрией катода, превосходящее данный параметр в структурах с плоскостной геометрией катода, а также изолированным сеточным электродом. Таким образом, в процессе разработки измерительного стенда была предложена концептуальная модель рентгеновского источника, основанная на геометрии триодной автоэмиссионной структуры с вертикальным лезвийным катодом, показанной на рис. 1. В качестве материалов мишени в работе рассматривались W ($Z=74$) и Mo ($Z=42$) как наиболее подходящие материалы для генерации излучения. Для измерения автоэлектронной эмиссии в катодно-сеточном узле триода был разработан специальный измерительный стенд с простейшей электронно-оптической системой для визуализации эмиссионного тока.

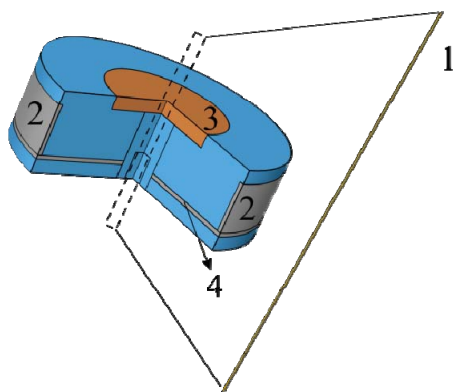


Рис. 1. Модель триодной автоэмиссионной структуры, используемой в разработанном стенде рентгеновского источника (1 – лезвийный катод, 2 – сеточные электроды, 3 – прострельная мишень (анод), 4 – электрод для закрепления лезвийного катода).

На рис. 2 показано свечение люминофорной поверхности экрана через иллюминатор вакуумной камеры во время измерений.

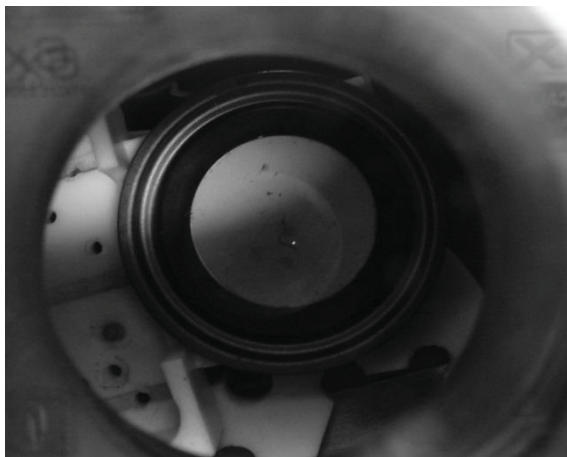


Рис. 2. Свечение люминофорной поверхности экрана разработанного измерительного стенда в процессе полевой эмиссии катодно-сеточного узла.

Далее представлены результаты моделирования рентгеновского излучения для различных материалов прострельной мишени и экспериментально снятые на разработанном измерительном стенде эмиссионные токи триодной структуры с наноразмерным лезвийным катодом.

Результаты. Моделирование и эксперимент

Для диапазона энергий электронного пучка от 10 до 40 кэВ в программном пакете Win X-Ray [3] были промоделированы зависимости интенсивности рентгеновского излучения $\varphi(\rho z)$ от толщины про-

стрельной мишени d (для W и Mo), на основе которых рассчитаны толщины анодной пленки, позволяющие достигнуть максимума интенсивности генерируемого рентгеновского излучения при различных длинах волн (рис. 3).

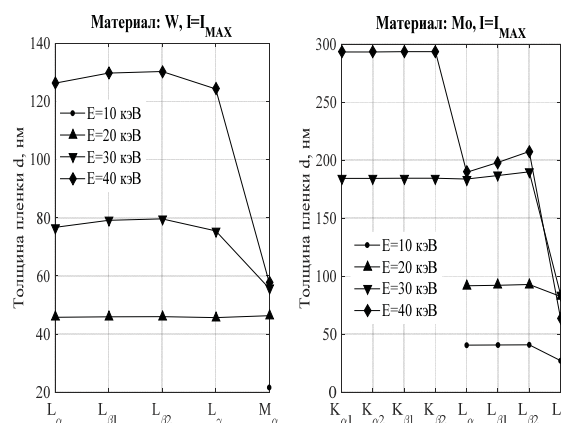


Рис. 3. Толщина прострельной мишени, соответствующая максимуму интенсивности рентгеновского излучения заданной длины волн для материалов W и Mo в указанном диапазоне энергий падающего электронного пучка.

Как показано на рис. 3, переход между различными материалами мишени позволяет значительно варьировать диапазон длин волн характеристического рентгеновского излучения, в то время как увеличение энергии приводит к генерации дополнительных пиков. При этом ток эмиссии порядка 75 мкА, достаточный для генерации такого излучения, достигается при использовании массива из 850 нанокатодов в триодной структуре. Данная величина по порядку соответствует результатам измерений на стенде, где значение тока эмиссии составляло 47.2 мкА при напряжении на сетке 900 кВ. Полученные результаты могут быть применимы при разработке нового поколения микрофокусных рентгеновских источников с перестраиваемой длиной волны.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ ГК № 14.578.21.0188 (RFMEFI57816X0188).

Литература

1. A. Basu, M.E. Swanwick, A.A. Fomani et al. // J. Phys. D: Appl. Phys., V. 48, 225501 (2015).
2. J. Kim, J. Kim, H. Oh, M. Meyyappan et al. // J. Vac. Sci. Technol., V. 34, 042201 (2016).
3. R. Gauvin, E. Lifshin, H. Demers et al. // Microsc. Microanal., V. 12, 49-64 (2006).