

Особенности PIXE спектromетрии в условиях применения плоских рентгеновских волноводов-резонаторов

В.К. Егоров¹, Е.В. Егоров¹

¹ ИПТМ РАН, ул. Академика Осипьяна, 6, Чернооголовка, Мос. Обл. Россия 142432

Спектromетрия протон-индуцированной рентгеновской эмиссии (PIXE) является стандартным высокоэффективным методом элементной диагностики материалов [1,2]. Его применение особенно полезно для анализа содержания в изучаемых объектах легких элементов, хотя имеются определенные ограничения, связанные с поглощением излучения окнами рентгеновских детекторов [3]. В ионно-пучковой диагностике материалов он является прекрасным дополнением к возможностям метода резерфордского обратного рассеяния (РОР) ионов [4]. Однако в условиях стандартной геометрии измерений возможности PIXE спектromетрии оказываются существенно ограниченными для элементной диагностики тонкого поверхностного слоя материалов [2], поскольку фиксируемый детектором рентгенофлуоресцентный выход отражает содержание элементов в поверхностном слое, соответствующим глубине проникновения возбуждающего ионного пучка, составляющего значения в несколько микрометров.

Выполненные нами эксперименты показали, что стандартный метод PIXE может быть преобразован в эффективную аналитическую процедуру элементной диагностики поверхности путем включения в его измерительную схему плоского рентгеновского волновода-резонатора (ПРВР) специальной конструкции. В такой модифицированной схеме ионный пучок попадает на изучаемый объект через отверстие, соответствующее поперечному сечению пучка, проделанное в плоском рефлекторе с внутренней полированной поверхностью, на края которого нанесены параллельные полосы (например, хрома или титана) толщиной 100 нм. Поверхность изучаемого объекта с внутренней поверхностью рефлектора образуют ПРВР, который позволяет выводить из канала, обозначенными указанными поверхностями и нанесенными полосками, рентгеновский характеристический выход, характеризующий только тонкий приповерхностный слой изучаемого объекта. Толщина этого слоя определяется плотностью материала рефлектора. При использовании Ве рефлектора диагностируемая

толщина поверхностного слоя изучаемого образца составит 12-15 нм, в зависимости от длины волны возбуждаемого рентгенофлуоресцентного выхода. Для Si рефлектора: 10-12 нм, для рефлектора из HfO_2 – 3-5 нм. Такая простейшая модернизация позволяет на базе PIXE спектromетрии сформировать новый весьма эффективный метод элементной диагностики поверхности материалов. К сожалению, в отличие от стандартного метода тестирования поверхности, основанного на рентгенофлуоресцентном анализе поверхностного слоя материалов в условиях полного внешнего отражения возбуждающего потока на изучаемой поверхности (РФА ПВО) [5], предлагаемый метод не лишен влиянию матричного фактора, но по чувствительности превосходит стандартную процедуру на несколько порядков. В работе освещаются основы предлагаемого аналитического метода и приведены экспериментальные данные, характеризующие его уникальные особенности. Интересной его особенностью является возможность расширения его применения в условиях электронного возбуждения рентгенофлуоресценции, поскольку ионно-пучковые установки являются достаточной редкостью, а построение подобных установок на базе электронных микроскопов может иметь широкое распространение.

1. М.В. Коляда, А.Н. Зайченко, Р.В. Дмитренко. Рентгеноспектральный анализ с ионным возбуждением. М.: Атомиздат, 1978. 248 с.
2. S.A.E. Johansson, J.L. Campbell, K.G. Malkquist. Particle Induced X-ray Emission Spectrometry (PIXE). New York: Wiley, 1995. 451 p.
3. А.Н. Жуковский, Г.А. Пшеничный, А.В. Майер. Высоочувствительный рентгенофлуоресцентный анализ с полупроводниковыми детекторами. М.: Энергоатомиздат, 1991. 161 с.
4. M. Nastasi, J.W. Mayer, Y. Wang. Ion Beam Analysis, Fundamentals and Application. Boca Raton: CRC Press, 2015. 434 p.
5. R. Klockenkamper, a. Von Bohlen. Total Reflection X-ray Fluorescence analysis and Related Methods. New York: Wiley, 2015. 528 p.