

## Особенности диагностики легких элементов в материалах методами ионно-пучкового анализа

*В.К. Егоров<sup>1</sup>, Е.В. Егоров<sup>1</sup>, М.С. Афанасьев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ИПТМ РАН, Черноголовка, Мос. обл., 142432 Россия, [egorov@iptm.ru](mailto:egorov@iptm.ru)

<sup>2</sup>ИРЭ РАН, Фрязино, Мос. обл., Россия

Базовым методом ионно-пучковой диагностики материалов является спектрометрия резерфордовского обратного рассеяния (РОР) высокоэнергетических потоков ионов на ядрах атомов исследуемых объектов. Главной особенностью этого метода является абсолютность получаемых на его базе сведений о содержании элементов в изучаемых пробах. Эта особенность связана с тем, что получаемые экспериментальные спектры оказываются возможным точно описывать на основании теоретических выражений, полученных Резерфордом и Бором и огромного массива экспериментальных данных, связанных с торможением ионов в результате взаимодействия с электронной подсистемой и сведений по нерезерфордовскому рассеянию ионных потоков атомными ядрами [1]. Нерезерфордовский фактор имеет место при рассеянии ионных потоков на ядрах всего существующего атомного ряда, но он оказался аналитически значимым для рассеяния пучков протонов с энергией  $E \leq 2$  МэВ на ядрах атомов элементного ряда Li-F. Использование этого фактора позволяет количественно и без привлечения стандартов диагностировать наличие легких элементов в любых матрицах с пределами обнаружения на уровне 0.1 ат. % (1000 ppm). Недостаточная чувствительность метода РОР легко компенсируется параллельной регистрацией выхода характеристической рентгеновской радиации, возбуждаемой ионным пучком в испытываемой пробе. В отличие от возбуждения рентгенофлуоресценции потоками электронов, рентгеновскими и гамма лучами, ионно-пучковое возбуждение оказывается много более эффективным для инициирования появления в спектре выхода флуоресценции низкоэнергетических характеристических линий. Например, если сравнивать сечение возбуждения линий  $\text{NaK}\alpha$  и  $\text{YK}\alpha$  протонным пучком с энергией 1 МэВ, их соотношение будет близко к миллиону в пользу атомов Na. Для более легких элементов это соотношение окажется еще более внушительным, значительно перекрывая фактор зависимости эффективности регистрации от энергии рентгеновских квантов полупроводниковым детектором за счет поглощения в его входном окне. Существенным фактором ионно-пучкового возбуждения рентгенофлуоресценции является пониженная фоновая составляющая, ввиду резкого снижения выхода тормозного излучения. В результате в РФА измерениях при ионном возбуждении рентгенофлуоресценции легких элементов удается добиться пределов обнаружения примесей в любых матрицах на уровне  $10^{-5}$  ат. % (100 ppb) [2].

В докладе обсуждаются возможности и перспективы ионно-пучковой диагностики материалов и ее особенности в применении к легким элементам с представлением экспериментальных данных, характеризующих отмеченные особенности, полученные с использованием УНУ №45 – аналитического комплекса Сокол-3 ИПТМ РАН [3].

[1] Handbook of Ion beam material analysis / Ed. by J.R. Tesmer, M. Nastasi. Pitsburg: MRS Publ. 1995. 704 p.

[2] H.R. Verma. Atomic and nuclear analytical methods. Berlin: Springer. 2007. 375 p.

[3] В.К. Егоров, Е.В. Егоров, М.С. Афанасьев // Изв. РАН, Физ. серия. 78(6) (2014) 700-704.