

УДК 681.2.083

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО МОДУЛЯ УСКОРИТЕЛЯ AN 2500 ДЛЯ ВЫСОКОЛОКАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА МАТЕРИАЛОВ АВТОФОКУСИРОВАННЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Камышан А.С., Пилько В.В. (ст.), Пилько В.В.

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

Аннотация. Комплекс для измерения энергетических спектров Резерфордского обратного рассеяния ионов (РОР) и ионноиндуцированного характеристического излучения (ХРИ) модернизирован для изучения объектов с повышенным газовыделением в условиях дифференциальной откачки и с использованием выведенного в атмосферу пучка. С использованием автофокусировки на выходе стеклянного капилляра получены значения плотности ионного тока, на 3 порядка величины превышающие значения плотности ионного тока на входе капилляра при одновременном увеличении его локальности до 5 мкм.

Ключевые слова: энергетический спектр, ионноиндуцированное характеристическое излучение, локальный анализ, ионный пучок, автофокусировка.

POTENTIALITY EXPANSION OF AN-2500 ACCELERATOR HARDWARE-SOFTWARE MODULE FOR LOCALLY PRECISE MATERIAL COMPOSITION RESEARCH BY MEANS OF AUTOFOCUSED ION BEAM

Kamyshan A., Pilko V. (sr.), Pilko V.

*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physics Problems of BSU
Minsk, Belarus*

Abstract. Facility for Rutherford Backscattering and Proton-Induced X-Ray Emission energetic spectra measurements was modified for excessive gas emission objects study in differential pumping conditions by means of beam guided to atmosphere. Using beam autofocusing effect three order of magnitude increment of ion beam density between entrance and exit of glass capillary were obtained with locality up to 5 μm.

Key words: energy spectrum, proton induced x-ray emission, local analysis, ion beam, autofocusing.

*Адрес для переписки: Пилько В.В., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220108, Республика Беларусь
e-mail: pilkow@mail.ru*

Развитие материаловедения показало, что в основе уникальности свойств материалов, как правило, лежит его специфический состав и характер распределения компонент как по глубине, так и по плоскости. Наряду с этим, чрезвычайно актуальной является задача исследования изменений, протекающих в материалах при внешних воздействиях. Этими факторами и обусловлена тенденция к повышению локальности анализа.

Как правило, локальность микроанализа материалов с помощью высокоэнергетических пучков зараженных частиц достигается за счет использования сложных и прецизионных фокусирующих устройств. Метод фокусировки заряженных частиц с использованием диэлектрических капилляров был разработан в течение двух последних десятилетий [1–3].

Методика и обсуждение результатов. На базе ионного ускорителя AN-2500 создан комплекс для измерения энергетических спектров Резерфордского обратного рассеяния ионов (РОР) и ионноиндуцированного характеристического излучения (ХРИ) объектов с повышенным газовыделением в условиях дифференциальной откачки и с использованием выведенного в атмосферу пучка. Общий вид комплекса приведен на рис. 1. Дифференциальная откачка форкамеры

осуществляется механическим вакуумным насосом, что позволяет получать вакуум в капиллярной системе на уровне 1 Па.



Рисунок 1 – Общий вид программно-аппаратного комплекса для высоколокального исследования состава материалов автофокусированным протонным пучком

Пучок протонов, монохроматизированный магнитом-сепаратором ускорителя ионов AN-2500, через ионопровод ускорителя и входной коллиматор щелевого прибора, подается на длиннофокусный инжектирующий канал форкамеры диаметром 1 мм и длиной 10 мм, находящийся под «плавающим» положительным потенциалом. Далее пучок протонов подается на вход стеклянного капилляра. Благодаря явлению автофокусировки на выходе стеклянного капил-

ляра можно получать весьма высокие значения плотности ионного тока. Исследования коэффициента пропускания протонов через конусные капилляры с диаметром входного отверстия 0,8 мм и выходным отверстием 5 мкм, проведенные с использованием цилиндра Фарадея, совмещенного с держателем капилляра показали, что прохождение протонного пучка через капилляр сопровождается образованием самоорганизующейся системы пучок-капилляр (ion-guiding – эффектом) внутри капилляра.

Максимальный коэффициент пропускания достигает 25 %, что соответствует увеличению плотности выходного тока в $1,8 \cdot 10^3$ раз. Это существенно сокращает время анализа при одновременном повышении его локальности. Характеристика пучка на выходе капилляра в случае вывода его в атмосферу иллюстрируется рис. 2. Проведенные измерения показали, что при плотности ионного тока на входе в капилляр 20 мкА/см^2 плотность тока на выходе из него достигает $2,5 \text{ мА/см}^2$. При этом средний выходной ионный ток составляет 0,5 нА. Эти значения выходного тока сохраняются при изменении энергии ионов на входе в капилляр от 0,5 до 1,5 МэВ. Конструкция модуля предусматривает возможность прецизионного поворота держателя образца с шагом, равным диаметру пучка и обеспечивает угловое сканирование. Программно-аппаратный комплект модуля включает программу управления шаговыми двигателями позиционирования SMD 2.0.

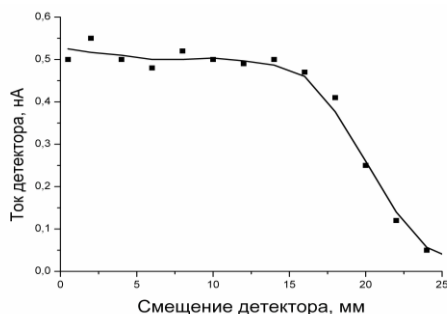


Рисунок 2 – Зависимость среднего выходного тока ионов водорода с энергией 1,4 МэВ от расстояния между выходным торцом капилляра и поверхностью цилиндра Фарадея

Достигнутые значения плотности тока анализирующего пучка позволяют с достаточной статистической достоверностью непрерывно регистрировать спектры РОР в процессе углового сканирования. Достигнута высокая степень автоматизации измерений, реализована программная обработка их результатов. Эти опции реализованы путем использования стандартных (Ortec

Maestro 32, WinPlot 32) и специально разработанных (Total Converter, ViewDifference, IonScat) сервисных программ. Один из типичных результатов измерений, проведенных на треках износа, сформированных с помощью трибометра [4] по методике [5] представлен на рис. 3. Методика позволила выявить область полного износа упрочняющего покрытия.

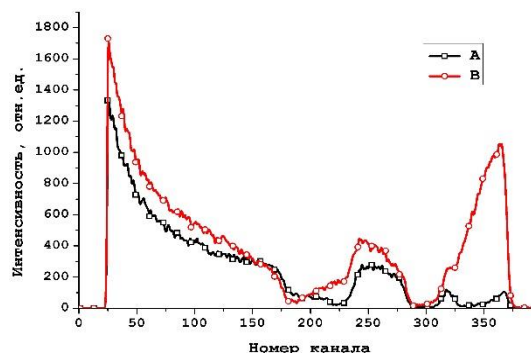


Рисунок 3 – Спектры РОР трека износа покрытия TiN на кремниевой подложке: A – в центре трека, B – со смещением на $0,1^\circ$ от центра

К основным преимуществам разработки относятся низкая стоимость, простая форма исследуемого образца, экспрессность испытаний (порядка десяти минут), высокая локальность измерений по глубине слоя (10 нанометров), по плоскости образца (10 мкм либо $0,1^\circ$). Метод идеально подходит для исследования тонких образцов, содержащих малое количество исследуемого элемента, а также послойного анализа массивных объектов.

Литература

1. Nebiki, T. In-air PIXE analysis by means of glass capillary optics / T. Nebiki, M. HasnatKabir, T. Narusawa // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 2006. – № 249. – P. 226–229.
2. Fujita, N. Development of two-dimensional mapping technique by in-air-PIXE with metal capillary / N. Fujita, K. Ishii, H. Ogawa // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 2010. – №3. – P. 321–327.
3. Комаров, Ф. Ф. Формирование ионных пучков микронных размеров с высокой пространственной плотностью частиц / Ф. Ф. Комаров, А. С. Камышан, П. А. Гришин // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2013. – Т. 57, №1. – С. 51–54.
4. Устройство для измерения коэффициента трения поверхностных слоев : пат ВУ 12676 / В. В. Пилько, В. В. Пилько. – Опубл. 30.08.2021.
5. Пилько, В. В. Программно-аппаратный комплект для исследования процессов трения и износа методом «диск на плоскости» / В. В. Пилько, В. Н. Кулешов, Ф. Ф. Комаров // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 279–285.