

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЯДЕРНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

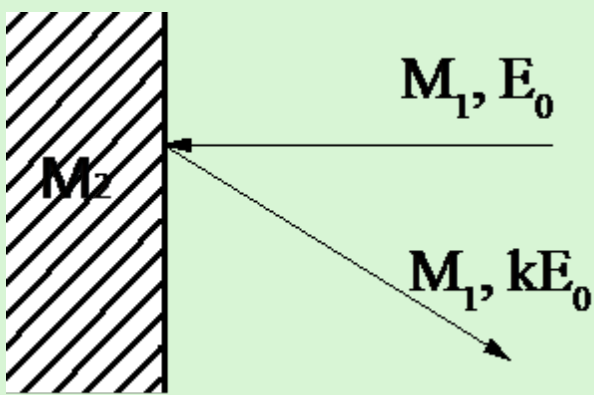
Ткаченко Н.В., Каменских А.И.

НИИЯФ МГУ им. Д.В. Скобельцына

nicki_tkak@mail.ru

СПЕКТРОМЕТРИЯ ЯДЕРНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Метод спектрометрии обратного рассеяния основан на использовании кинематических и статистических закономерностей рассеяния протонов на ядрах мишени. Если частица с массой M_1 сталкивается с ядром массой M_2 , то начальная и конечная энергии частицы будут связаны между собой соотношением

$$E = kE_0$$
$$k = \left(\frac{M_1}{M_1 + M_2} \right)^2 \left[\cos \theta + \sqrt{\left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 - \sin^2 \theta} \right]^2$$


В случае когда энергия налетающих частиц превышает кулоновский барьер, рассеивание происходит в собственном поле ядра мишени, также они могут вызывать резонансные реакции в ядрах с вылетом заряженных частиц, что в совокупности приводит к индивидуальному спектру рассеяния для каждого элемента и повышенной чувствительности метода к элементам, чьи резонансные уровни лежат в области энергий налетающих частиц. В этом случае метод носит название ядерного обратного рассеяния (ЯОР или NBS).

Исследование образцов проводилось на 120 см циклотроне НИИЯФ МГУ при рабочей энергии пучков протонов 7.6 МэВ. Максимальная глубина анализа составляла 100 мкм при разрешении в 1 мкм.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

При рассеянии на ядрах в глубине вещества протон теряет энергию также на ионизационные потери. Зная, на каком ядре произошло рассеяние, можно определить его положение. Поэтому определение толщины покрытия методом ЯОР позволяет найти так называемую массовую, или рентгеновскую, толщину, т.к. протоны, проходя через вещество, «не замечают» пор и пустот внутри материала. Как следствие, сопоставление геометрической и массовой толщин позволяет определить объемную пористость покрытий по следующей формуле: $\Pi = (\Pi_{\text{геом}} - \Pi_{\text{масс}}) / \Pi_{\text{геом}} \cdot 100\%$

Например, сравнение диоксидциркониевых покрытий с близкими геометрическими толщинами позволило определить пористость как 28% и 22%.



ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

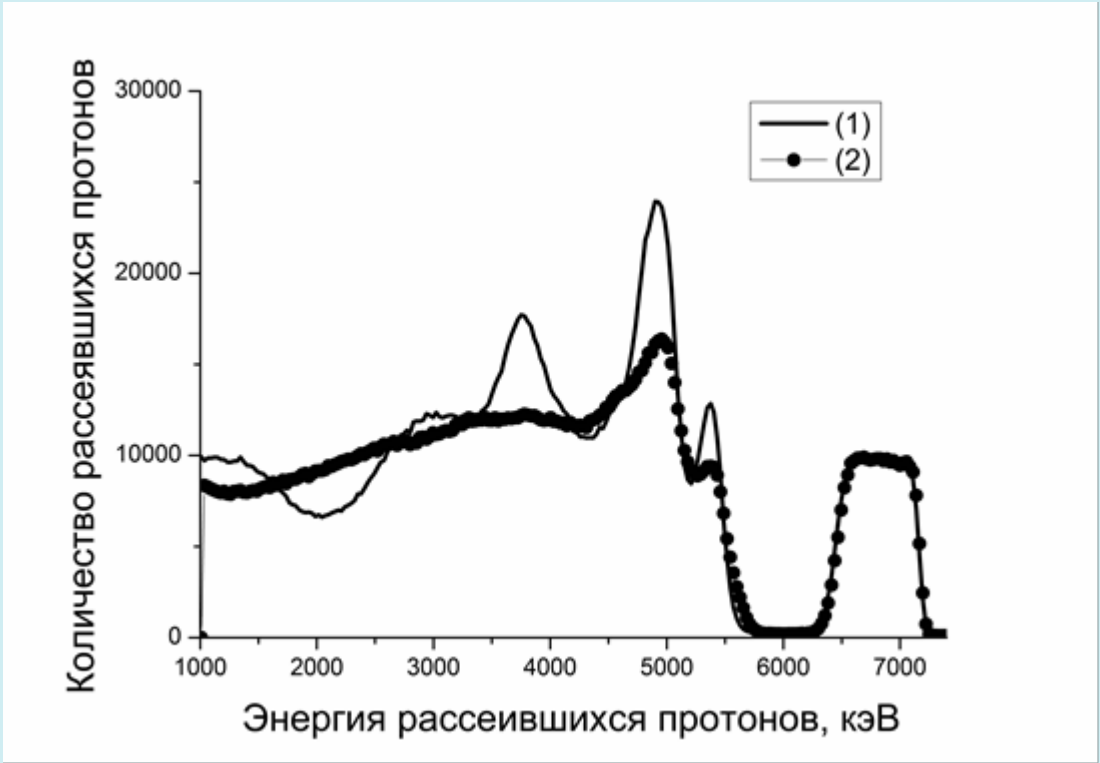
Метод определения неоднородности покрытий и тонких пленок основан на особенностях такого явления как страгглинг, уширения спектра за счет статистической природы процесса рассеяния. Страгглинг обусловлен несколькими причинами, две из которых обусловлены техническими условиями проведения эксперимента: флуктуации начальной энергии пучка и разрешение детектора.

При неоднородности мишени (нарушенная структура материала, возникновение нежелательных примесей) плотность слоёв d перестаёт быть постоянной в малой области x . В таком случае выражение для энергетических потерь будет записана в следующем виде:

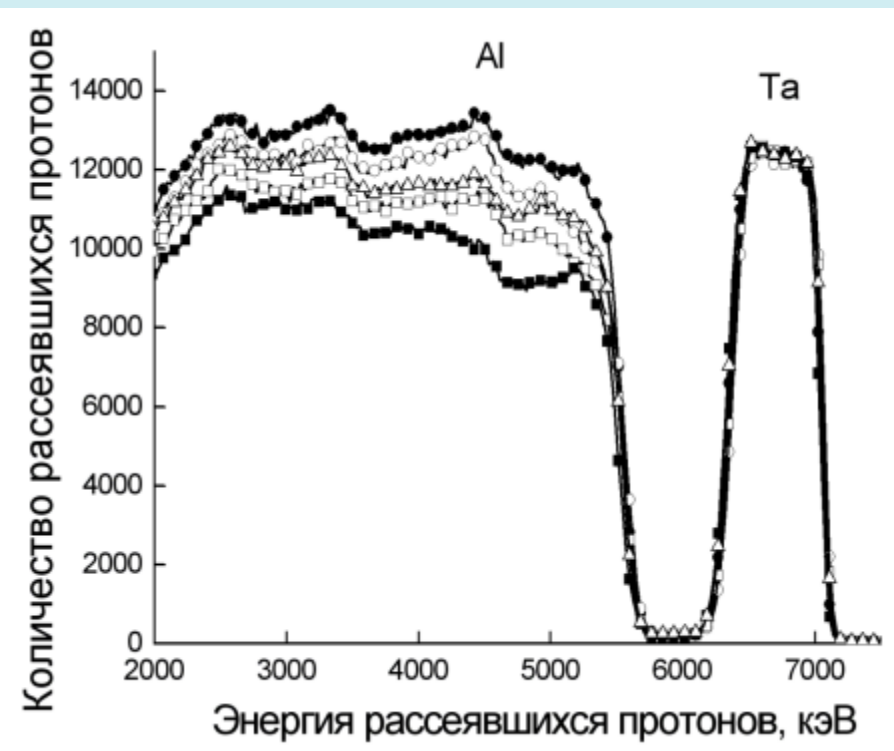
$$E_L = - \int_0^x S dx \approx Z \frac{N_a}{A} C dx$$

И флуктуации энергетических потерь будут выражены как

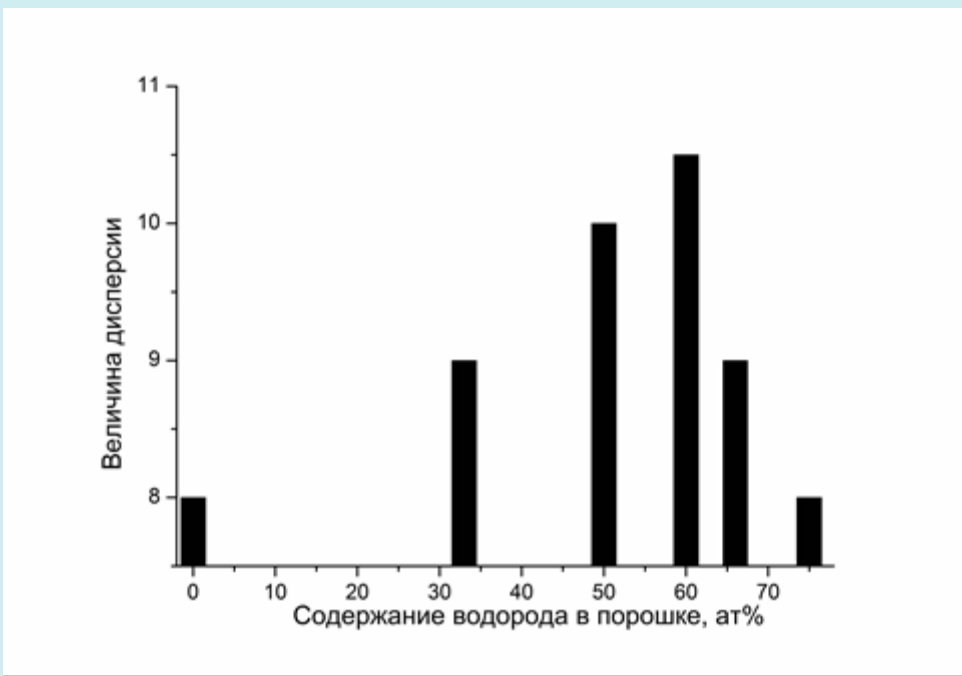
$$\frac{\delta E_L}{E_L} = \frac{\delta E_e}{E_L} + \frac{\delta d}{d}$$



Сравнение спектров ЯОР от пластинки магния (1) и порошкообразного магния (2). Резонансные пики в спектре порошка сильно смазаны из-за страгглинга



Спектры ЯОР от смесей порошков Al и AlN₃. Просадка спектров в сравнении с эталоном Та вызвана присутствием Н в образцах



Результат аппроксимации правых краёв спектров Al распределением Гаусса. Как видно, для смесей чистого порошка и гидрида характерна большая величина страгглинга