

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПЛЕНОК ОКСИДА ОЛОВА, ЛЕГИРОВАННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

А.И. Кругляк<sup>1</sup>, Т. Ю. Зеленяк<sup>1</sup>, Р. L. Tuan<sup>1,2</sup>, А. С. Дорошкевич<sup>1</sup>, В. К. Ксеневиц<sup>3</sup>, В. А. Доросинец<sup>3</sup>, М. А. Самарина<sup>3</sup>,  
Д. В. Адамчук<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия  
<sup>2</sup>Вьетнамский институт атомной энергии, Ханой, Вьетнам  
<sup>3</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: [Anastasiya.Kruglyak@nf.jinr.ru](mailto:Anastasiya.Kruglyak@nf.jinr.ru)



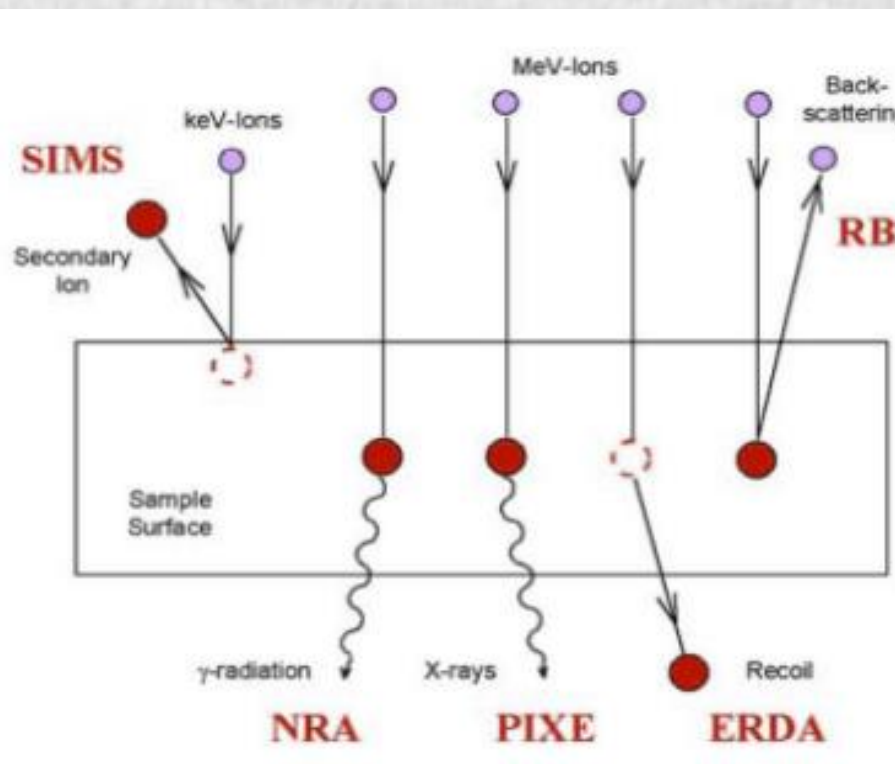
## 1 Введение

- В последние десятилетия наблюдается возросший интерес к исследованию возможности использования пленок диоксида олова ( $\text{SnO}_2$ ) в качестве функциональных элементов спинтроники в силу обнаруженного в них при комнатной температуре ферромагнетизма в результате легирования переходными металлами (Fe, Co, Mn и др.) [1].
- Установлена важная роль вакансий кислорода для возможности проявления ферромагнетизма в пленках диоксида олова [2]
- Также обнаружено, что совместное легирование ионами двух типов может способствовать повышению эффективности индуцирования ферромагнитных свойств в пленках  $\text{SnO}_2$  [3].

2

## Метод RBS

В современном материаловедении существует достаточно методов для определения структуры поверхностей материалов (Рис.1), а для изучения приповерхностных слоев выбор метода исследования ограничен, хотя спектр задач широк (появление неоднородностей при напылении пленок, исследование многослойных структур, процессы окисления и коррозии и т.п.).



Для эффективного решения таких задач используются неразрушающие методы анализа, в частности, метод Резерфордовского обратного рассеяния (Rutherford backscattering spectrometry – RBS) [4].

Рис.1 Взаимодействие ионов с твердым телом [5]

3

## Эксперимент



Рис. 2. ВУП-5М (Минск, Беларусь), где синтезируются пленки оксидов олова, легированные атомами ферромагнитных металлов (Ni, Co, Fe).



Рис.3. Камера ускорителя ЭГ-5 (Дубна, Россия) для RBS



Рис.4. Электростатический генератор ЭГ-5 (ЛНФ, ОИЯИ, Дубна, Россия)

## 4 Результаты

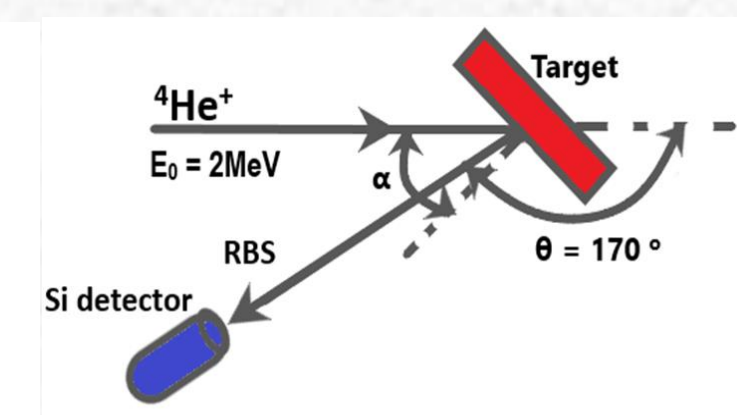
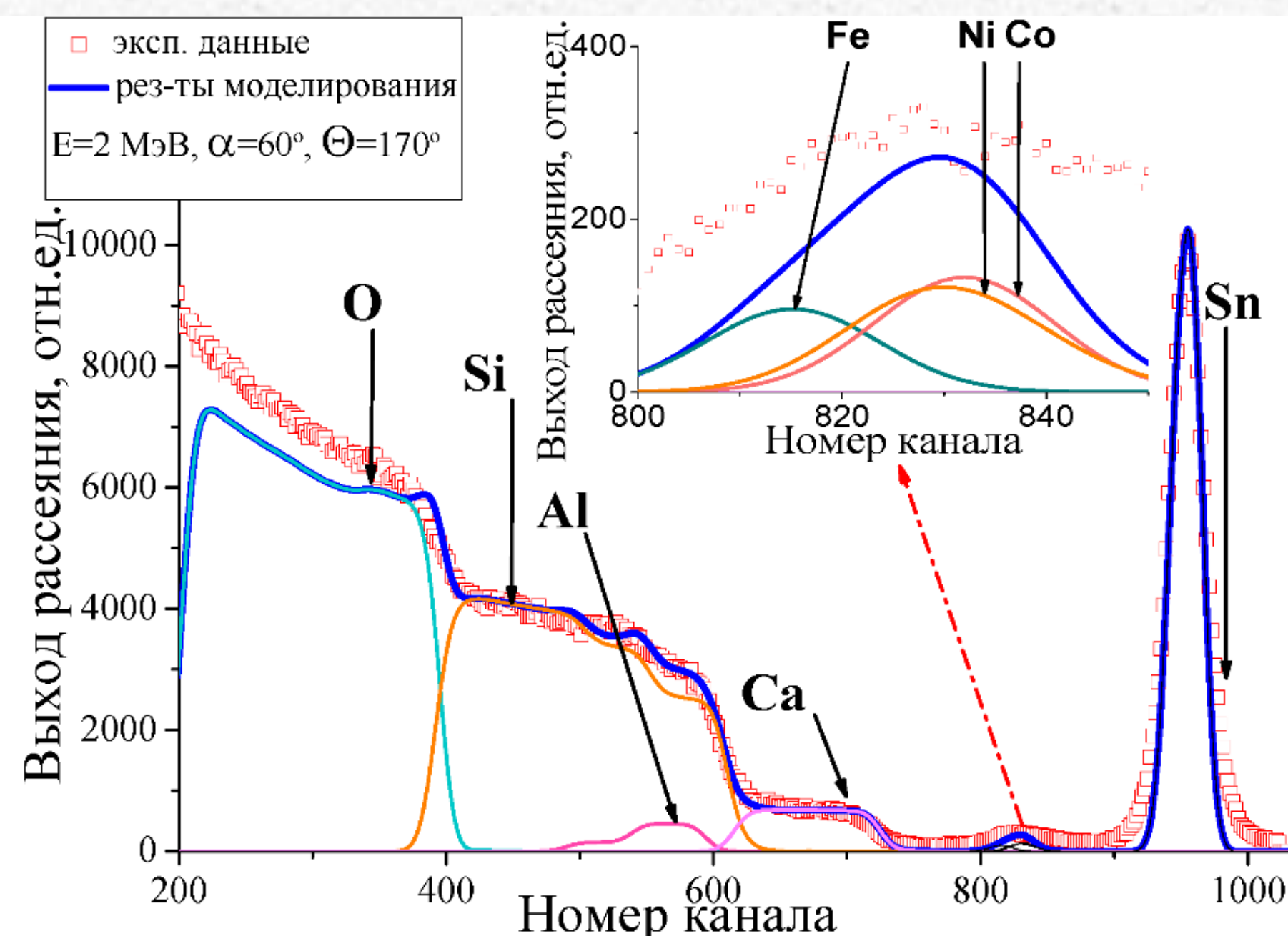


Рис.5. Геометрия RBS-метода

Рис. 6. Энергетический спектр RBS для пленки оксидов олова, легированной Co, Ni и Fe, подвергнутой двухстадийному отжигу на воздухе при температуре 200 °С в течение 2 часов на первой стадии и 375 °С на второй стадии в течение 1 часа. Сплошной синей линией показаны результаты моделирования экспериментальных данных в программе SIMNRA..

## На основе расчетных данных

- определен элементный состав образца
- содержание атомов Sn, Ni, Co, Fe и O в пленке составляет 34,0, 4,0, 4,4, 0,8 и 56,8 атомных процента соответственно
- атомы Fe распределены неравномерно по толщине пленки, наибольшая их концентрация (~ 0,7- 0,9 ат. %) наблюдается на глубине ~ 30 нм
- атомы Ni и Co распределены равномерно по глубине пленки
- между подложкой и пленкой отмечается четкое различие в элементном составе

5

## Заключение

Возможности метода RBS для пленок  $\text{SnO}_2$ , синтезированных с использованием магнетронного распыления, позволяют успешно определить не только элементный состав, но и распределение концентраций этих элементов по всей глубине образца. Так, анализ энергетических спектров показал, что атомы Ni и Co распределены равномерно по глубине пленки, а наибольшая концентрация атомов Fe наблюдается на глубине ~ 30 нм.

Четкое различие в элементном составе между стеклянной подложкой и легированной Co, Ni и Fe пленкой оксидов олова отражает отсутствие процессов диффузии элементов через границу раздела.

## Литература

- [1] S.B. Ogale [et al.] Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 77205.
- [2] H. Wang [et al.] J. Magn. Magn. Mater. 321 (2009) 3114-3119.
- [3] K. Nomura // Croat. Chem. Acta 88 (2015) 579–590.
- [4] A. B. Kramchenkov, A. A. Drozdenko, M. Zakharets (2008). Thin film study using high-resolution RBS // Metallofizika I noveishie tekhnologii. 30: 453-458.
- [5] Rutherford Backscattering Spectrometry, <https://physics.uwo.ca/>