

В.В. Привезенцев^{1,*}, А.А. Фирсов¹, А.П. Сергеев¹, В.С. Куликаускас², В.В. Затекин², Е.П. Кириленко³, А.В. Горячев³, А.В. Ковальский⁴

¹ФНЦ «НИИ системных исследований РАН», 117218 Москва, Россия

²НИИ ядерной физики, МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991 Москва, Россия

³ИМНЭ РАН, 119991 Москва, Россия

⁴ИПТМ РАН, Черноголовка, 141143 Московская обл., Россия

Введение

Свойства нанокластеров (НК) различных металлов и их оксидов в полупроводниковых и диэлектрических матрицах широко исследуются в связи с возможностью применения таких материалов в современных устройствах нано-, микро- и оптоэлектроники. Среди них НК оксида цинка играют заметную роль, поскольку ZnO имеет широкую запрещенную зону 3,37эВ и большую энергию связи в экситоне 60мэВ, что позволит их использовать в излучательных устройствах при повышенных температурах. Благодаря другим уникальным свойствам оксида цинка, такие материалы смогут найти применение в солнечных элементах, газовых сенсорах, в спинтронике и запоминающих устройствах (мемристорах), а также в медицине и биологии. Ранее предпринималось несколько попыток формирования Zn-содержащих НК в аморфном кварцевом стекле путем имплантации Zn с последующим термическим окислением. Представлены результаты исследования пленок SiO₂, имплантированных Zn и окисленных при повышенных температурах, в качестве активной среды мемристоров.

Образцы и методики эксперимента

На кварцевые подложки методом электронно-лучевого испарения были нанесены слой золота толщиной 100нм (нижний электрод), а затем пленки SiO₂ толщиной 140 нм. Для получения равномерного распределения цинка по толщине пленки была проведена имплантация при энергиях 20 и 120кэВ с дозой $5 \times 10^{16}/\text{см}^2$. Образцы отжигались на воздухе в течение 40мин в диапазоне температур 400-800°C с шагом 100°C. В конце процесса на пленку SiO₂ через маску напылялся слой алюминия толщиной 200нм, в котором формировались верхние электроды в виде кругов с диаметром 1.5 мм.

Исследование профилей имплантированного Zn было проведено с помощью резерфордовского обратного рассеяния (POP) ионов гелия с энергией 700кэВ, а также методом времяпролетной масс-спектрометрии. Химическое состояние цинка и фазовый состав пленки определяли методами Оже-электронной спектроскопии и комбинационного (рамановского) рассеяния.

Времяпролетная масс-спектрометрия

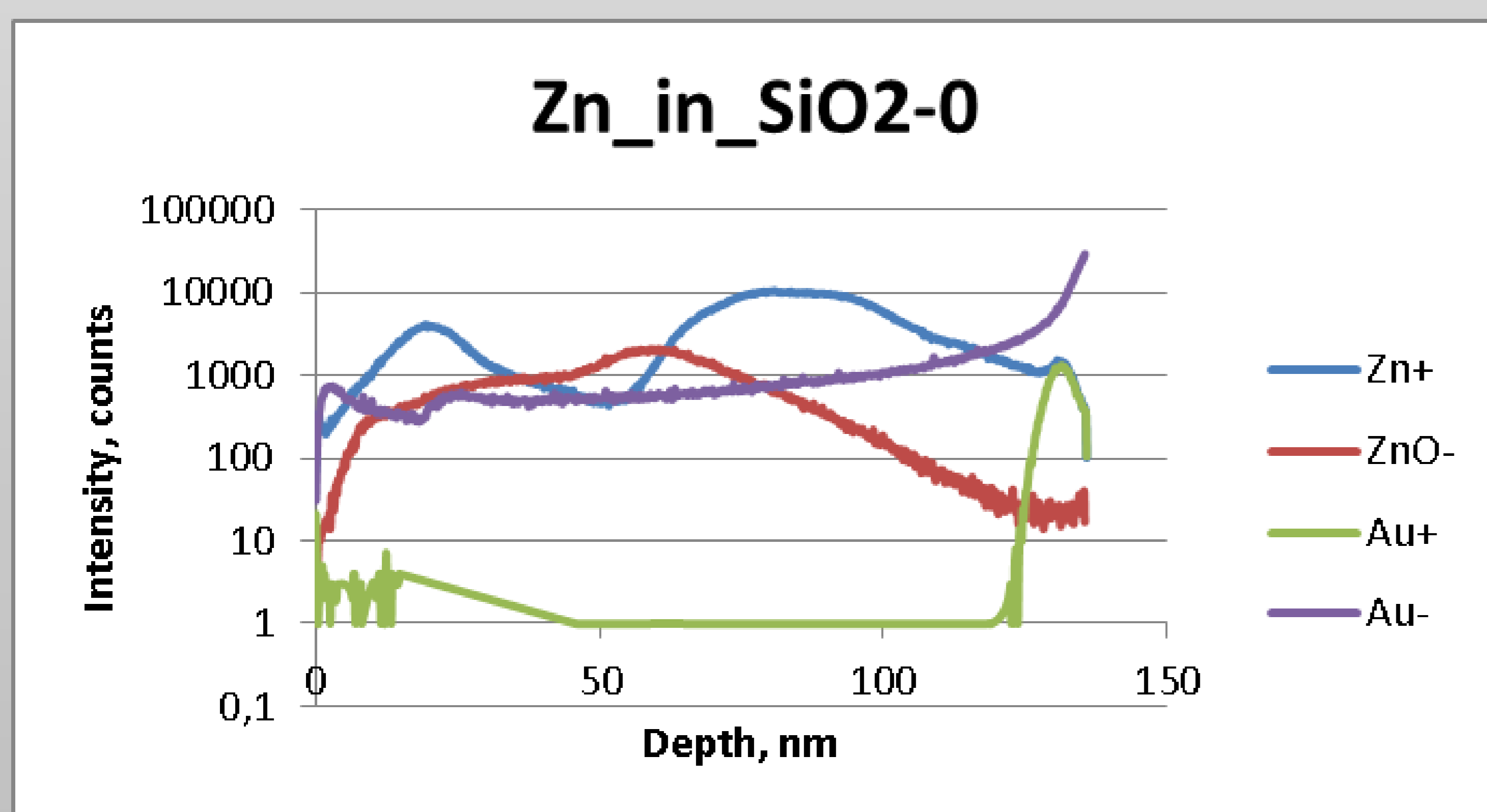


Рис.1. TOF-SIMS исследования образцов после имплантации.

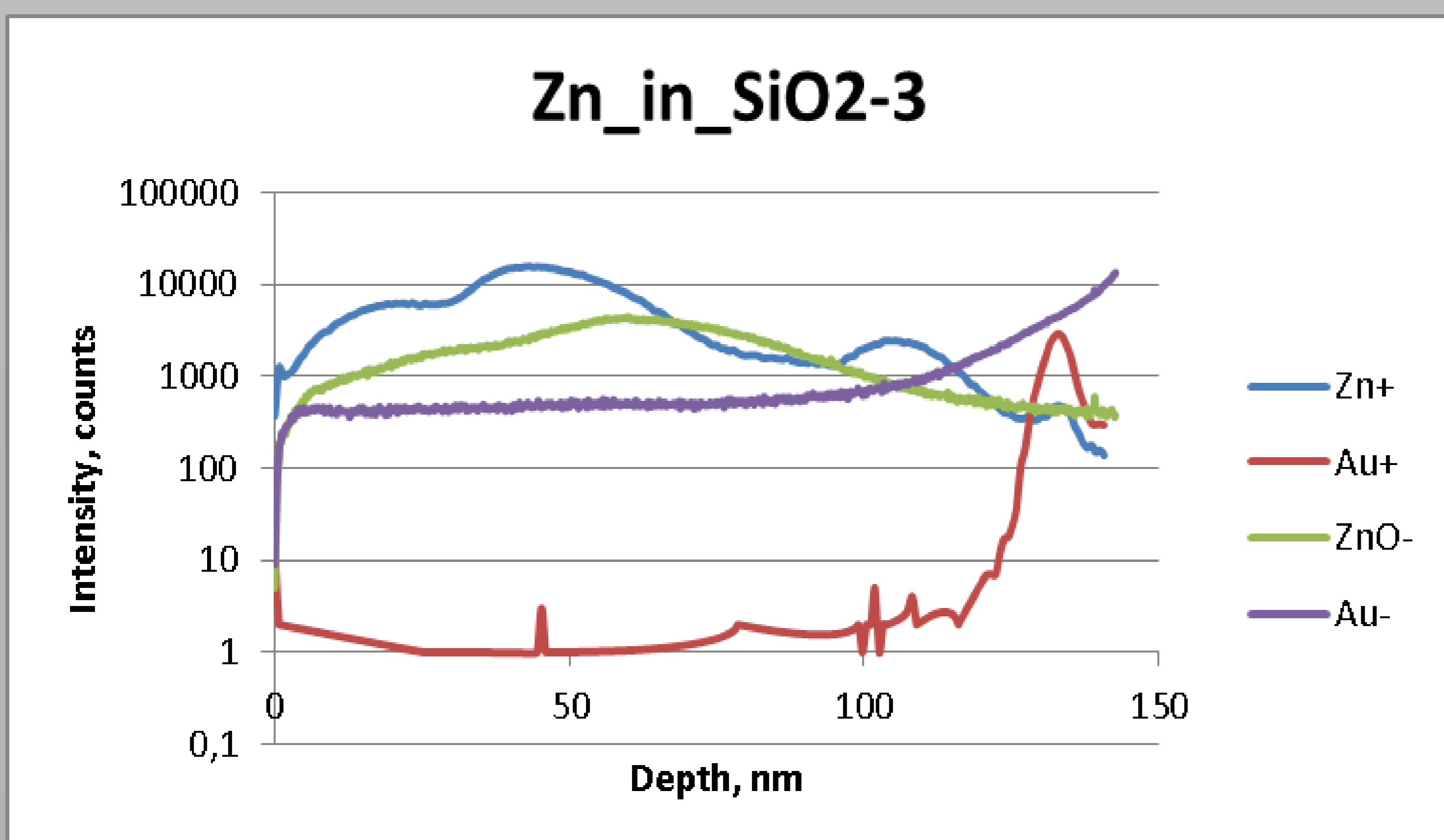


Рис.2. TOF-SIMS исследования образцов после отжига при 700°C.

Модельные спектры POP

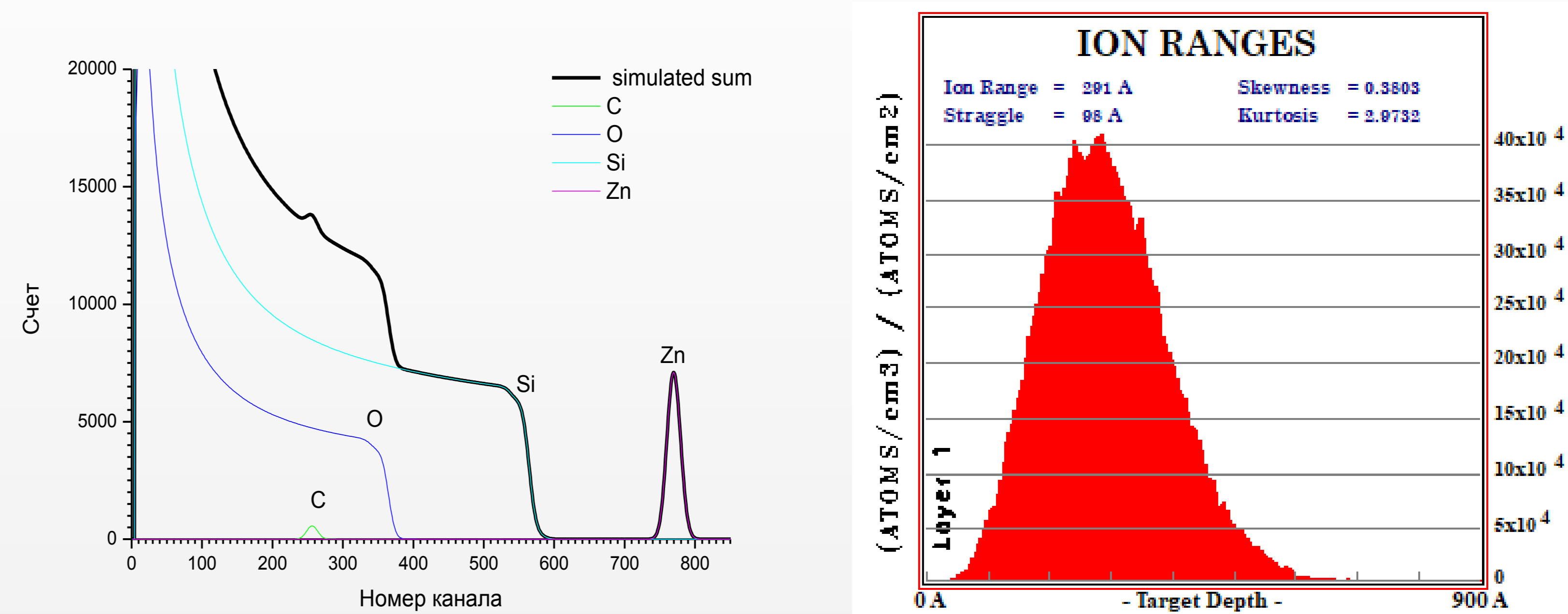


Fig.2. Модельный POP спектр и концентрационный SRIM профиль цинка после имплантации.

Экспериментальные спектры POP

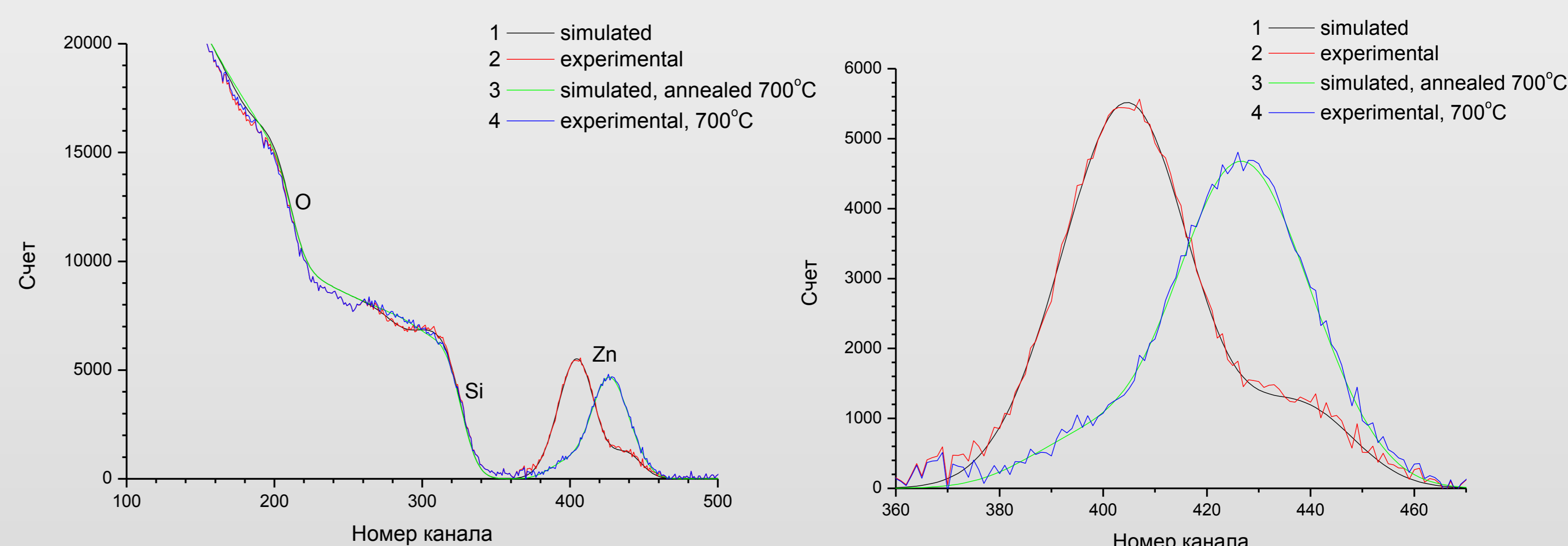


Fig.3. Экспериментальные спектры POP и спектры POP зоны цинка после имплантации и отжига при 700°C.

Рамановская спектроскопия

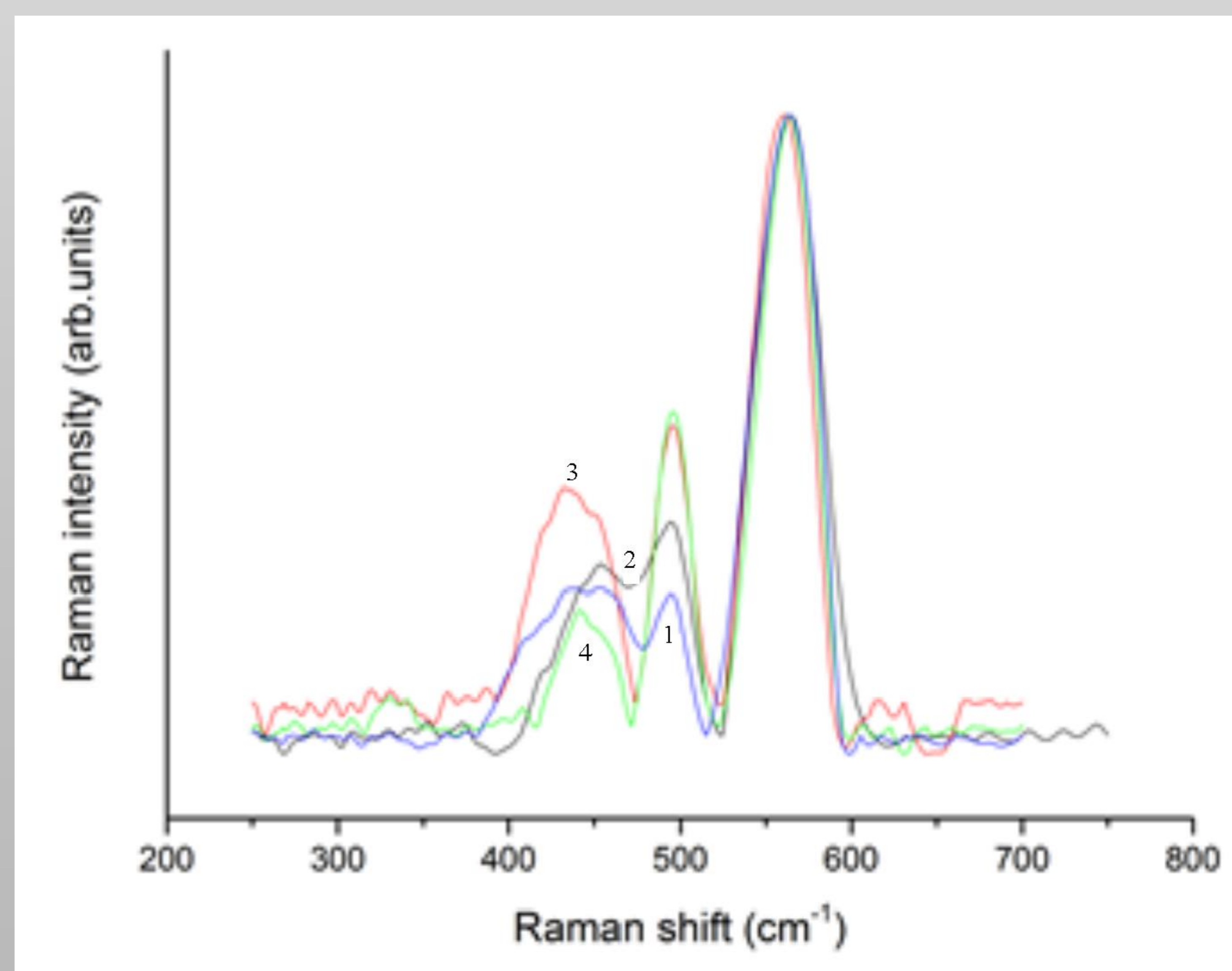


Fig.4. Раман-спектры после отжига при различных температурах, 1- после имплантации, после отжига при температурах, °C: 2 – 400, 3 – 600, 4 - 800.

Выводы

- 1) После имплантации цинк имеет 2 максимума на глубинах 20 и 85 нм.
- 2) После имплантации в образце формируются кластеры состава Zn·ZnO вблизи верхней поверхности пленки SiO₂ и с фазой Zn в ее глубине.
- 3) После отжига при 700°C имеется максимумы на глубинах 20, 40 и 85 нм.
- 4) После отжига при 700°C в образце формируются кластеры с фазой ZnO·Zn₂SiO₄ вблизи верхней поверхности пленки SiO₂ и с фазой Zn·ZnO в ее глубине.
- 5) После отжига при 700°C полученные пленки имеют ВАХ с характерным для мемристоров гистерезисом.