



Радиационные повреждения КНС псевдо-МОП транзисторов после облучения быстрыми ионами Хе и Ви



В.А. Антонов¹, А.П. Калугин¹, В.П. Попов¹, А.В. Мяконьких², К.В. Руденко², В.А. Скуратов³

¹ ИФП СО РАН им. А.В. Ржанова, Новосибирск, Россия, email: ava@isp.nsc.ru

² ФТИАН РАН им. К.А. Валиева, Москва, Россия, email: rudenko@ftian.ru

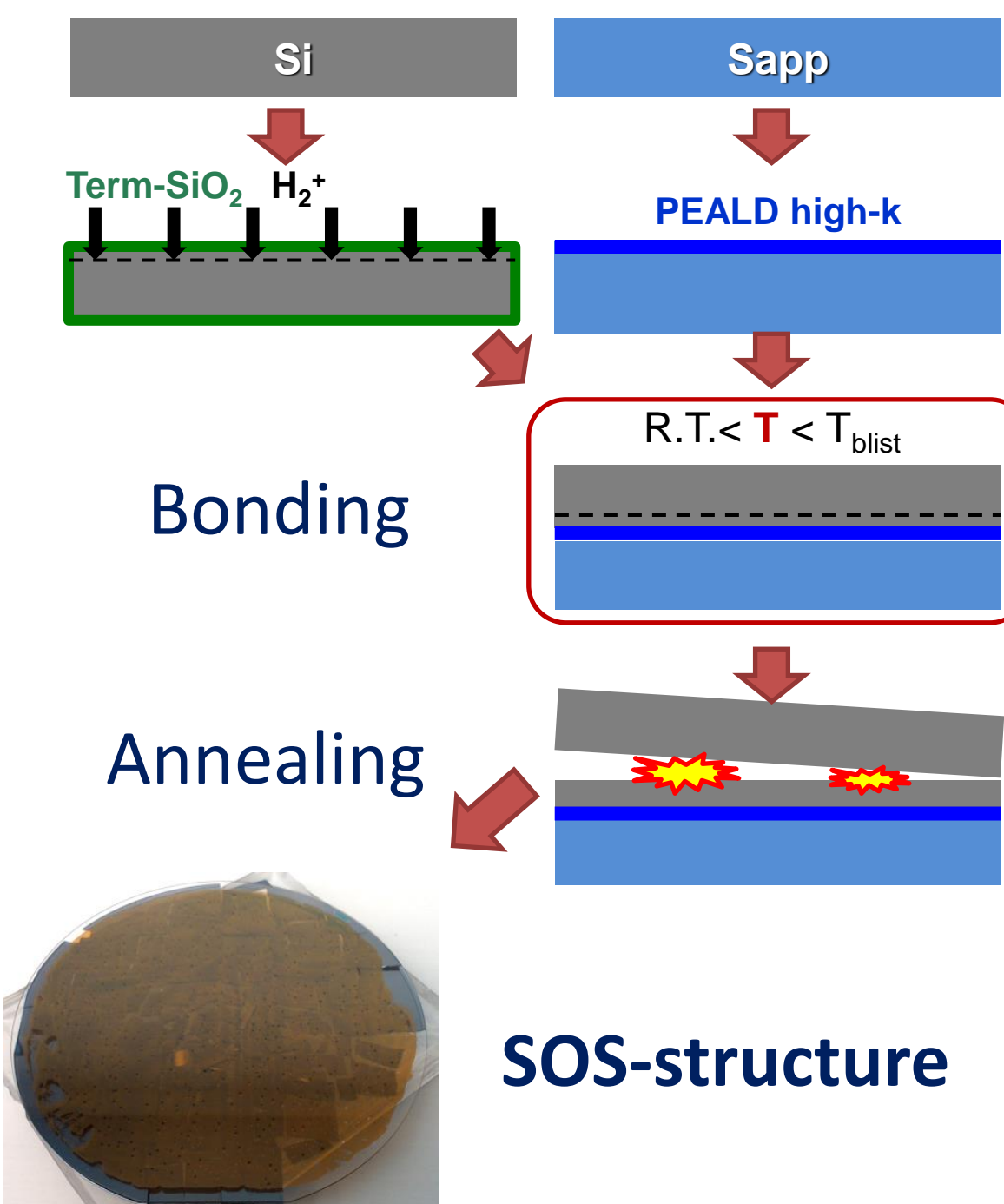
³ ОИЯИ, Дубна, Россия, email: skuratov@jinr.ru



Мотивация: Электронное торможение быстрых тяжелых ионов (БТИ) в твердом теле и дальнейшая релаксация избыточной энергии возбужденной электронной и атомной подсистем приводят к образованию наноразмерных треков нарушений вдоль траектории ионов. Эти нарушения решетки изменяют электрофизические, оптические и механические свойства многослойных гетероструктур полупроводник-диэлектрик, а также радиационную стойкость МДП-приборов.

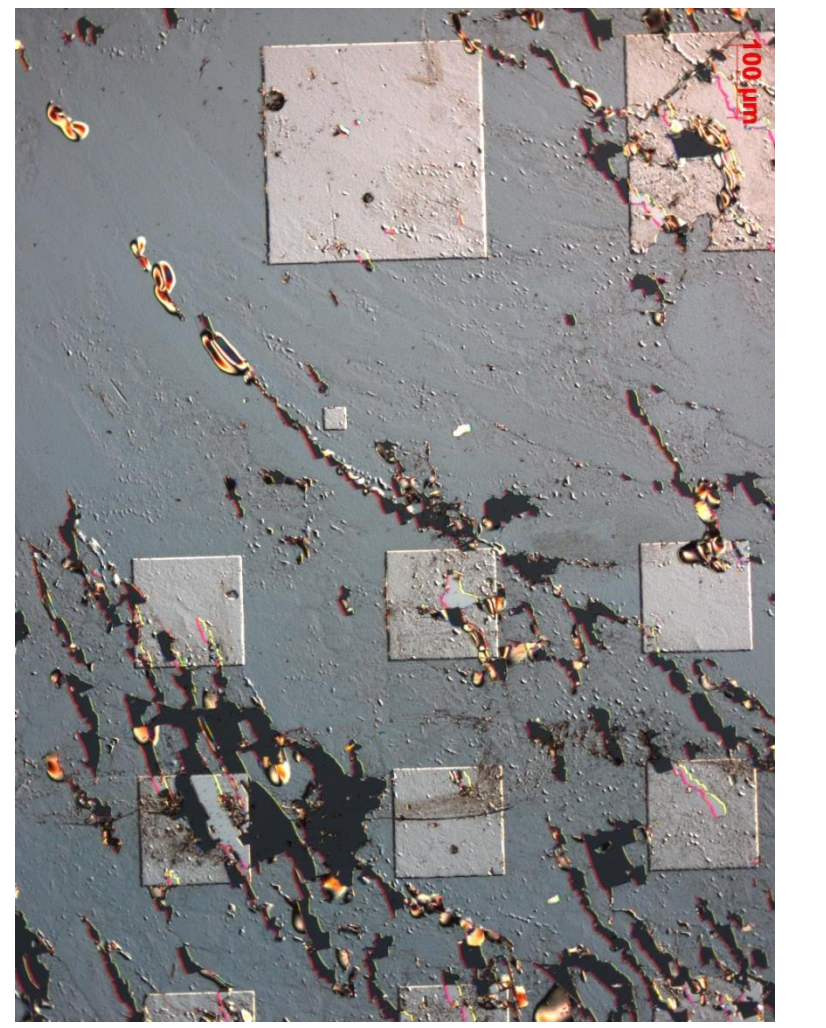
Формирование КНС-структур с сегнетоэлектрическим BOX

Сначала были получены поликристаллические слоистые структуры $\text{HfO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 10/1 толщиной 20 нм (HAO) методом PEALD при 300 °C на сапфировых подложках толщиной 530 мкм. Затем формировались КНС-структуры методом прямого сращивания и водородного переноса отсеченного слоя кремния при 450 °C. Полученные КНС структуры подвергались серии быстрых термических отжигов при 600, 700, 800, 950 °C по 30 секунд каждый, необходимым для удаления постимплантационных водородных дефектов и рекристаллизации слоев HAO.



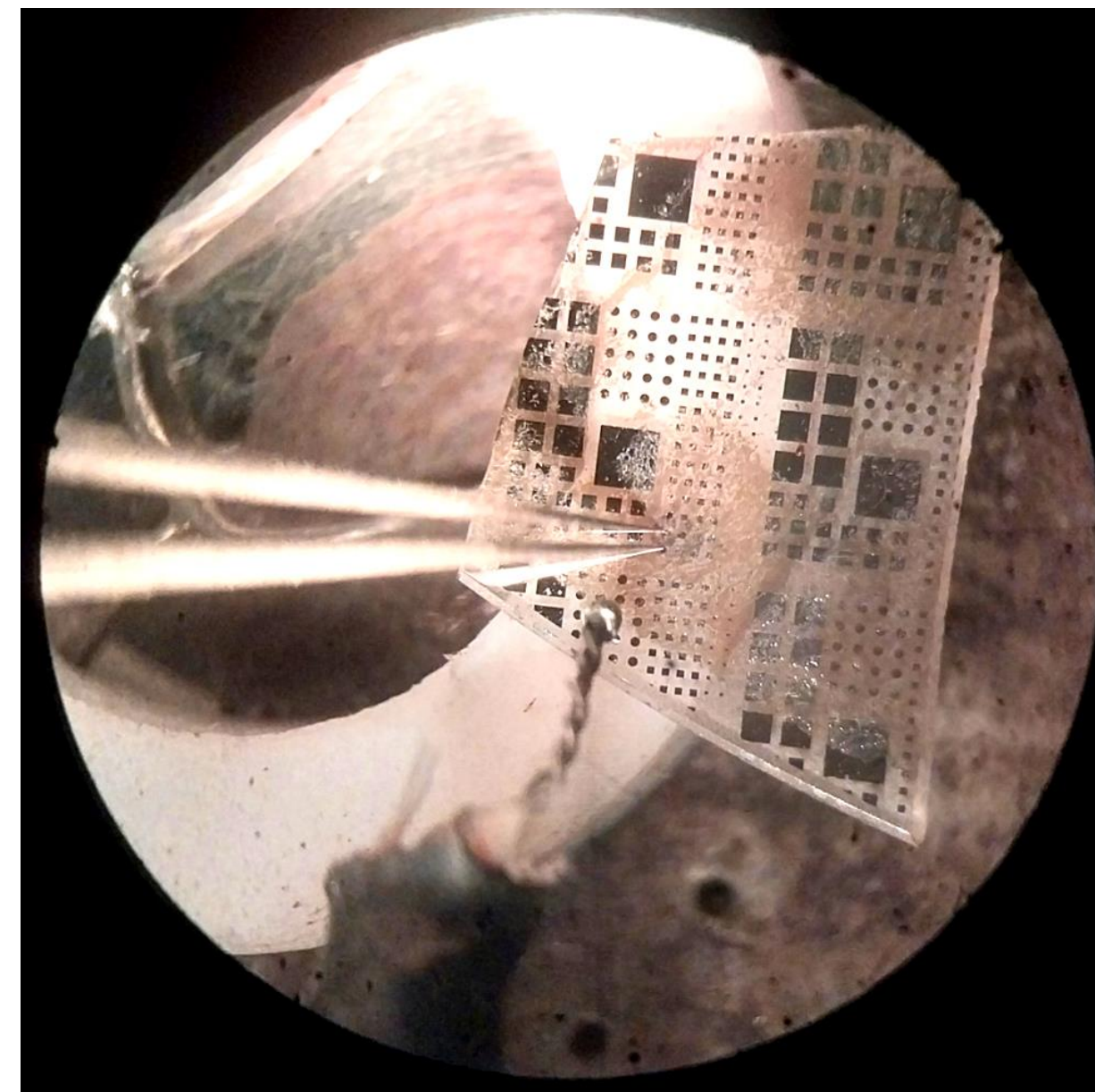
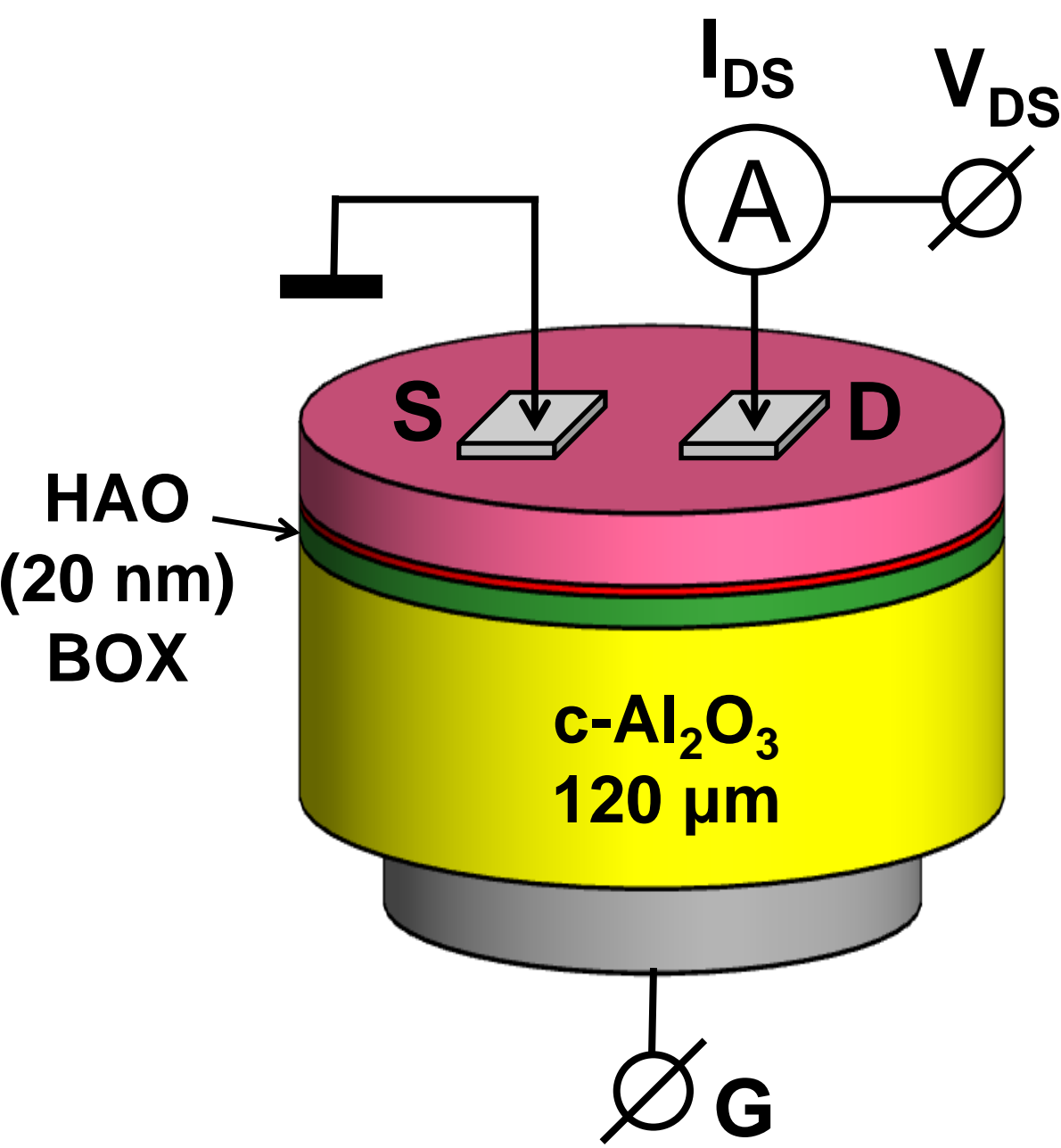
Создание КНС псевдо-МОПТ структур, облучение БТИ

Методами магнетронного напыления и оптической литографии на отсеченном слое кремния были изготовлены W контакты исток-сток толщиной 100 нм и длиной канала 200 мкм. После формирования КНС псевдо-МОПТ структуры с толщиной слоя кремния 500 нм, промежуточным слоем HAO толщиной 20 нм на 530 мкм подложке сапфира $\text{c-Al}_2\text{O}_3$ облучались быстрыми тяжелыми ионами (БТИ) Хе⁺²⁶ (150 МэВ) и Ви⁺⁵¹ (670 МэВ) флюенсами $2 \cdot 10^{11} \text{cm}^{-2}$.

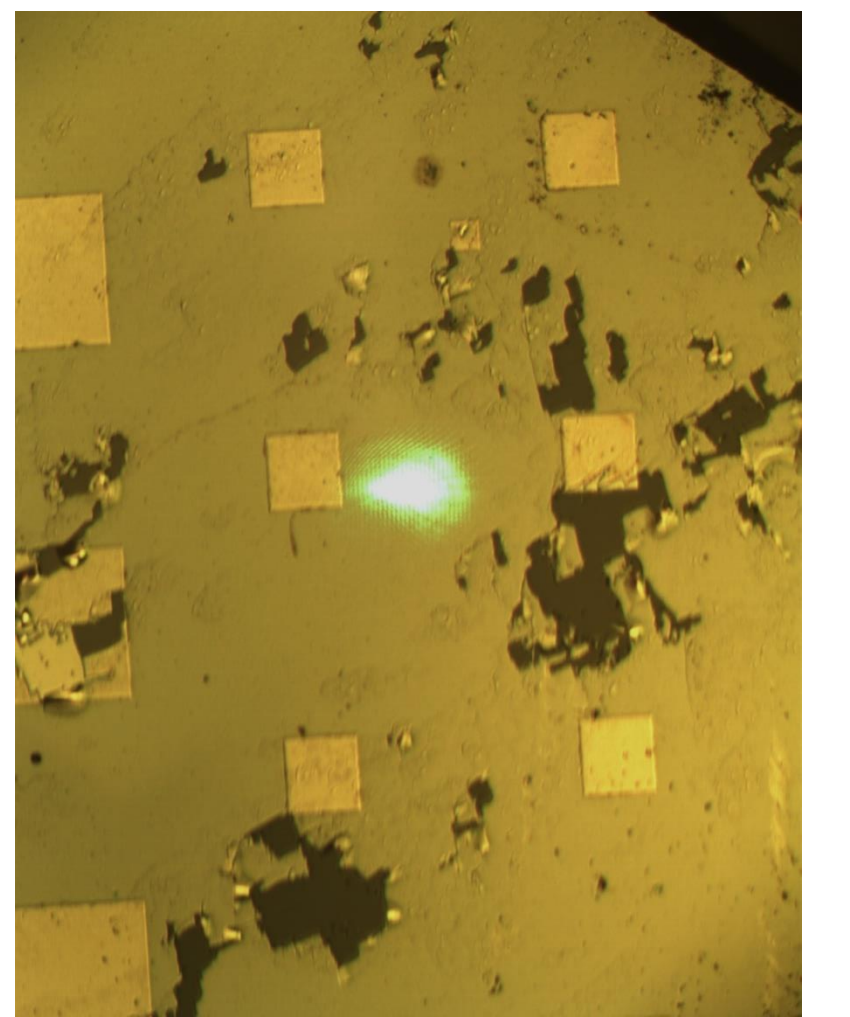


Измерения методом псевдо-МДП-транзистора и комбинационного рассеяния света (КРС)

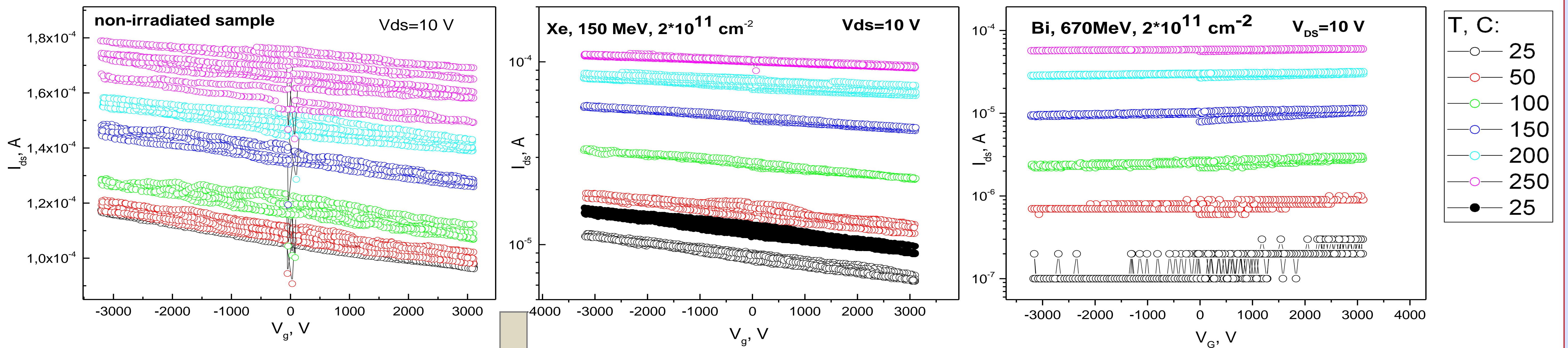
Электрические свойства КНС-HAO-структур, облученных БТИ, были исследованы методами pseudo-MOSFET при температурах от комнатной (RT = 25 °C) до повышенных до 250 °C.



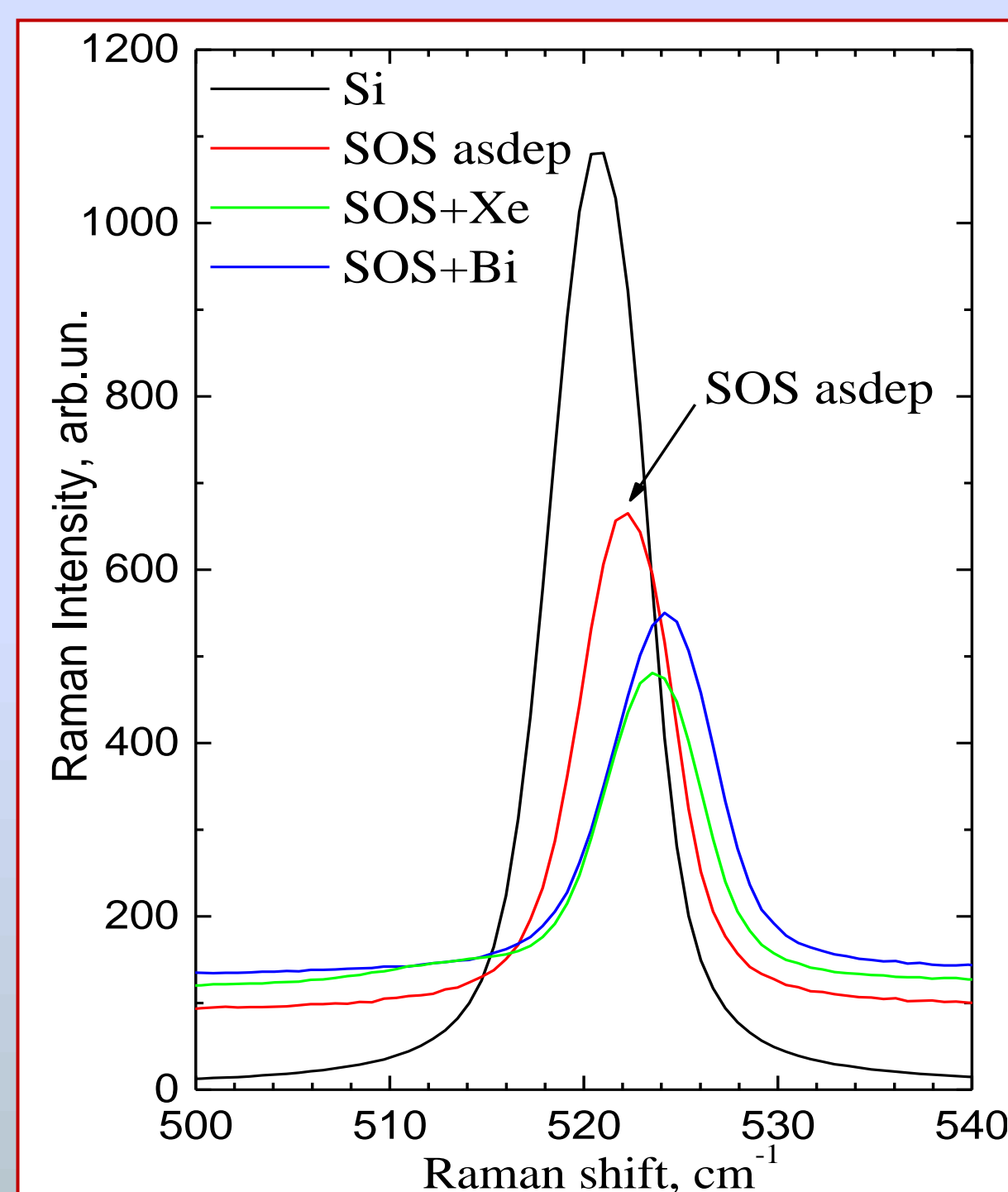
Были измерены КРС спектры комбинационного рассеяния, в конфокальном микроскопе снятые по нормали к рабочей поверхности КНС-структур при возбуждении зеленым лазером с длиной волны 514,5 нм.



Измерения методом псевдо-МДП-транзистора при T = 25-250°C



Воздействие моноатомных частиц, таких как Хе или Ви приводит к формированию в кремнии латентных треков, не участвующих в проводимости, и снижению кондуктанса КНС транзисторов более чем в 50 и 1000 раз для этих БТИ. В отличие от кремния, в кристаллах сапфира образуются латентные треки, сохраняющие кристаллическую структуру, диаметр которых составляет для БТИ Хе⁺²⁶ и Ви⁺⁵¹ 1.7 и 3.4 нм, соответственно. Как установлено, сдвиг порогового напряжения $\Delta V_{th} = -1080$ В после БТИ из-за формирования наведенного положительного заряда $Q = 1.3 \cdot 10^{11} \text{cm}^{-2}$ для Хе сравним с исходным зарядом Q_i , что свидетельствует об эффективной рекомбинации возбужденных БТИ электрон-дырочных пар на гетерогранице $\text{HfO}_2/\text{Al}/\text{c-Al}_2\text{O}_3$. Для Ви слой Si при T = 300-500 K полностью компенсирован, а величина дополнительного заряда, измеренная при 150°C, составляет $Q = 5 \cdot 10^{11} \text{cm}^{-2}$.



КРС спектры

Спектры однофонового рассеяния КРС на LO фонах в слое кремния КНС меза структур до и после облучения БТИ Хе⁺ и Ви⁺ в сравнении с объемным кремнием подтверждают релаксацию с 6 до 3 кбар упругих напряжений в слое после облучения ионами Хе⁺.

Выводы

Рост упругих напряжений после БТИ Хе и особенно Ви свидетельствует не только о сохранении кристаллических структур слоев кремния и HfO_2/Al , но и о возможном кристаллическом фазовом переходе в HfO_2/Al в процессе релаксации электронных потерь ионов Ви⁺⁵¹

Благодарность

Авторы благодарят Российский научный фонд за финансовую поддержку по гранту РФ-а №22-29-01063