

nikolskaya@nifti.unn.ru

А.А. Никольская, Д.С. Королев, А.Н. Михайлов, А.В. Кудрин, В.Н. Трушин,
М.Н. Дроздов, А.А. Конаков, А.А. Ревин, Д.И. Тетельбаум

Аннотация

В данном сообщении рассмотрены некоторые проблемы ионного легирования «нетрадиционных» (сложных) полупроводников на примере β -Ga₂O₃ – лидера по популярности среди широкозонных оксидных полупроводников, перспективных для ряда важных областей техники, таких, как силовая электроника и детектирование УФ излучения и газов. Одной из проблем ионного легирования является учет взаимодействия примесных атомов с радиационными дефектами. Изучались структурное разупорядочение β -Ga₂O₃ и электрические свойства облученных образцов при облучении ионами Si⁺. Предложена интерпретация полученных результатов.

Мотивация

Широкозонные полупроводники и значения их запрещенной зоны E_g в эВ при $T = 300$ К

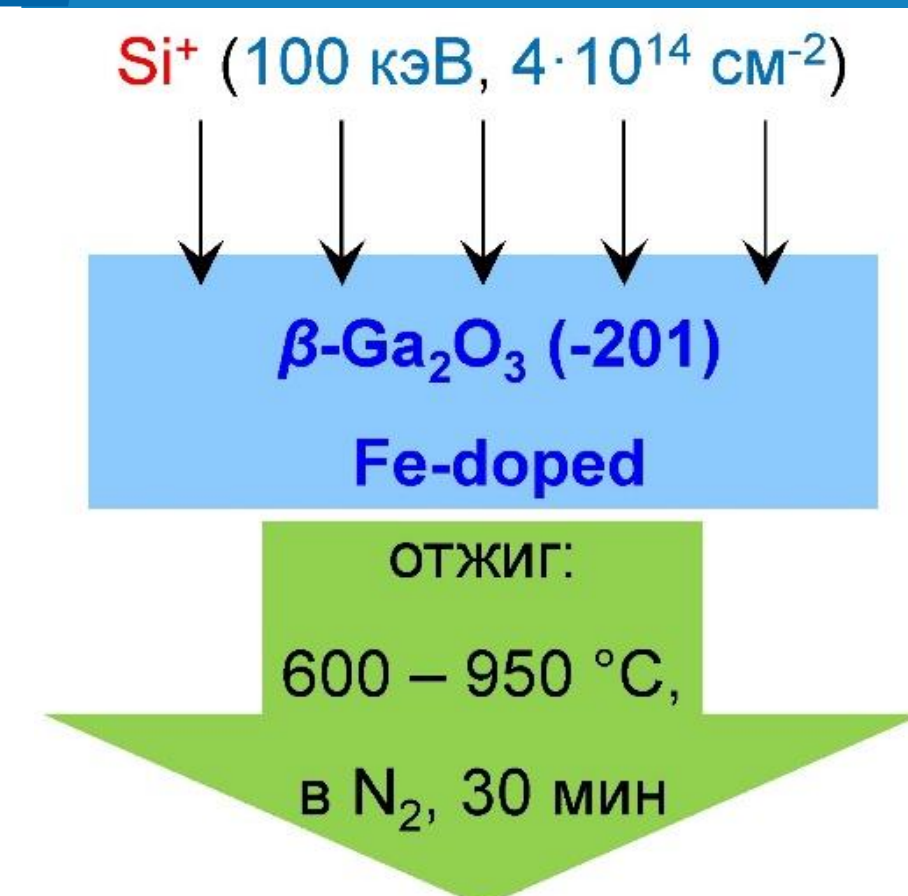
Si	GaAs	GaP	SiC	GaN	β -Ga ₂ O ₃	ϵ -Ga ₂ O ₃	α -Ga ₂ O ₃	Алмаз
1.11	1.42	2.26	2.36 – 3.04	3.37	4.9	4.9	5.2	5.46 – 6.4

Преимущества Ga₂O₃ по сравнению с SiC и GaN: большие E_g и пробивное напряжение в сочетании с высокой радиационной, термической химической стойкостью, разработанностью технологией роста слитков большого диаметра из расплава и более низкой стоимостью.

Основные преимущества ионной имплантации: строгий контроль концентрации и распределения примесей, инженерия дефектов, неравновесность процессов, универсальность оборудования, массовость производства приборов и др.

Основные проблемы β -Ga₂O₃: низкая теплопроводность; низкая симметрия (моноклинная сингония), анизотропия структуры и свойств; **проблематичность получения p-типа проводимости; слабая разработанность физических основ ионной имплантации.**

Методика экспериментов



Методики исследования: Рентгеновская дифракция, вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС), проводимость и эффект Холла

Рис. 1. Схема экспериментов.

Рентгеновская дифракция

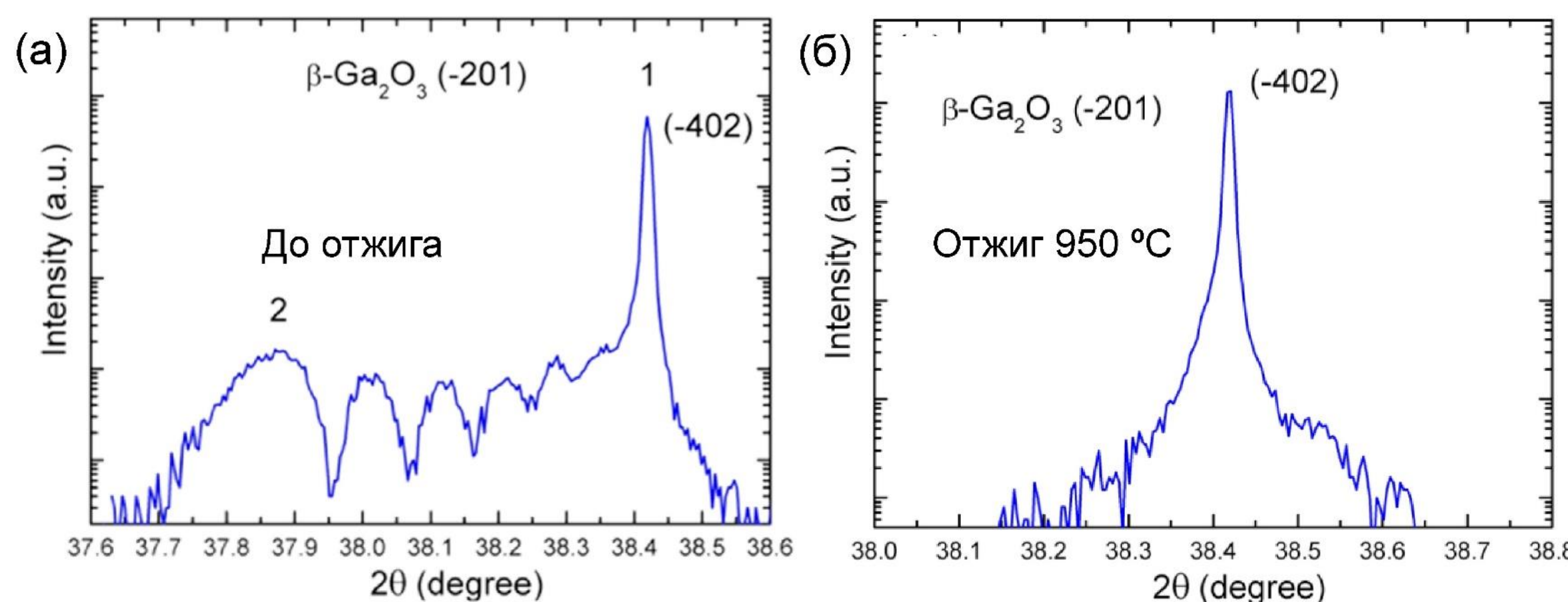


Рис. 2. Дифрактограммы облученных образцов β -Ga₂O₃ до (а) и после отжига при 950 °C (б).

Электрические свойства

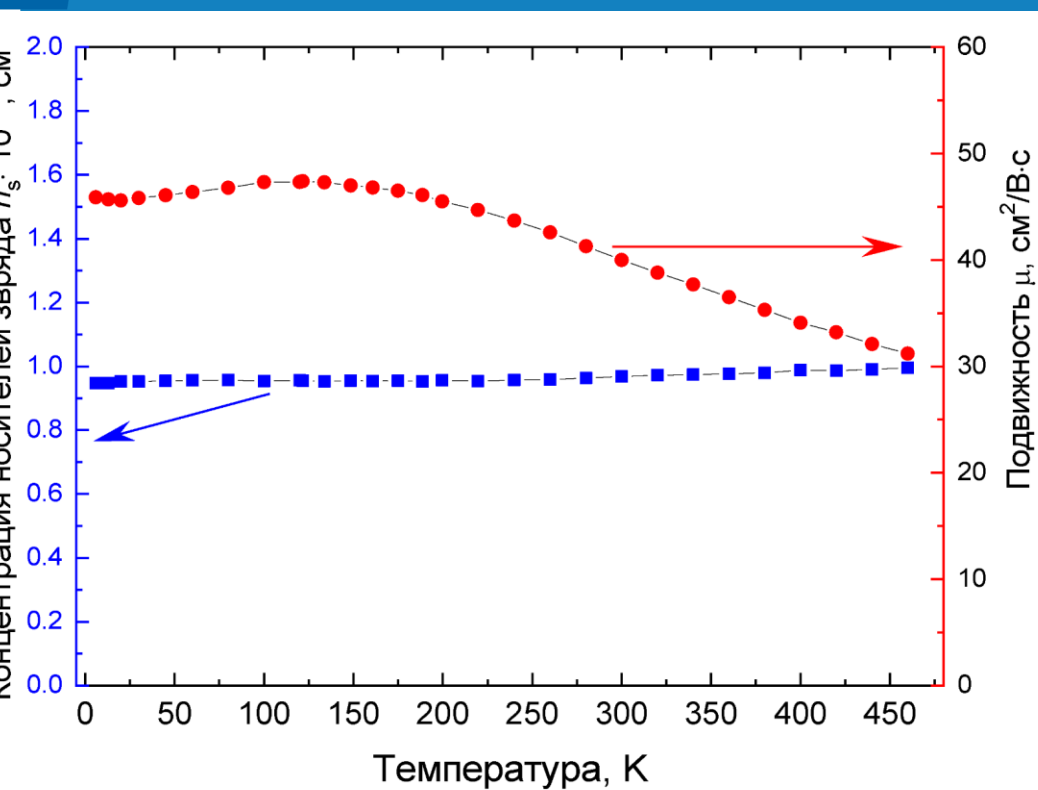


Рис. 4. Зависимость электрических характеристик образцов β -Ga₂O₃, облученных ионами Si⁺ после отжига 850 °C от температуры измерения.

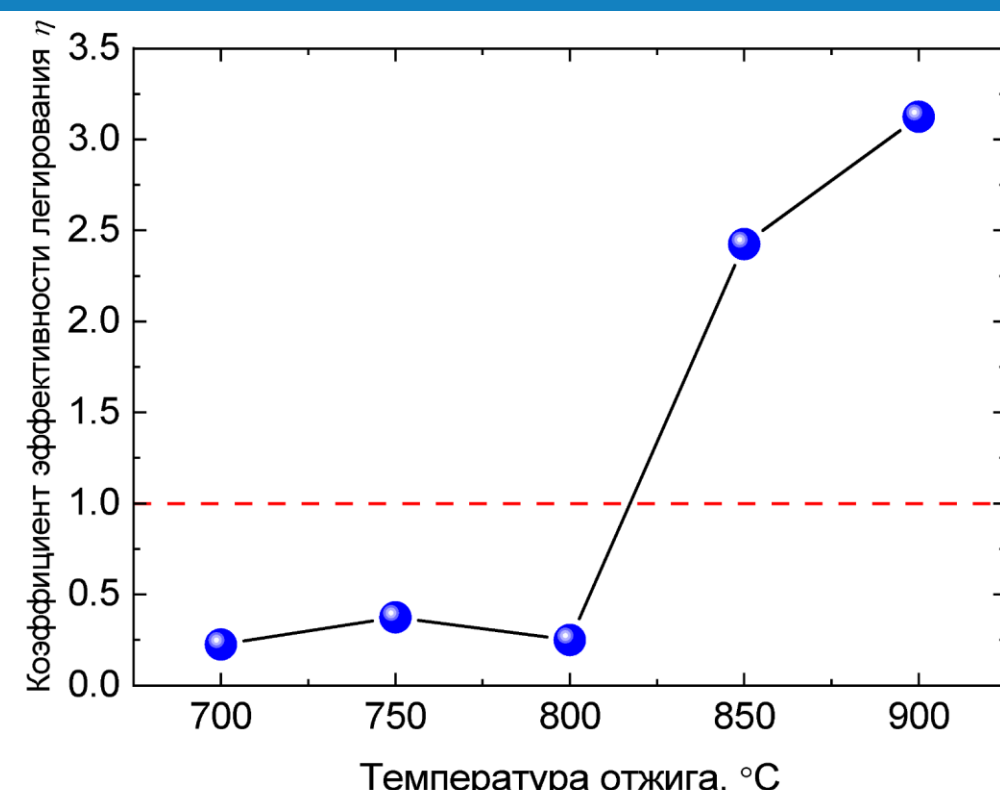


Рис. 5. Зависимость коэффициента эффективности ионного легирования образцов β -Ga₂O₃, облученных ионами Si⁺ от температуры отжига.

Электрическая активация Si резко возрастает в интервале $T_{отж} = 850 - 900$ °C. Аномально высокие значения коэффициента активации при высоких $T_{отж}$ (рис. 5) возможно обусловлены образованием примесной зоны, сливающейся с зоной проводимости, и попадания в объединенную зону донорных уровни остаточных дефектов (пока неизвестной природы). В пользу гипотезы о наличии примесной зоны свидетельствует практическая независимость от температуры измерения величины n_s , а о слиянии примесной зоны с зоной проводимости – сравнительно высокие значения μ , характерные для металлической (не прыжковой) проводимости (рис. 4).

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-00052, <https://rscf.ru/project/23-79-00052/>.

После облучения дифрактограммы показывают наличие разупорядоченного слоя, находящегося в состоянии латерального сжатия. После отжига при 950 °C разупорядочение и латеральные напряжения релаксируют.

Вторичная Ионная Масс Спектрометрия

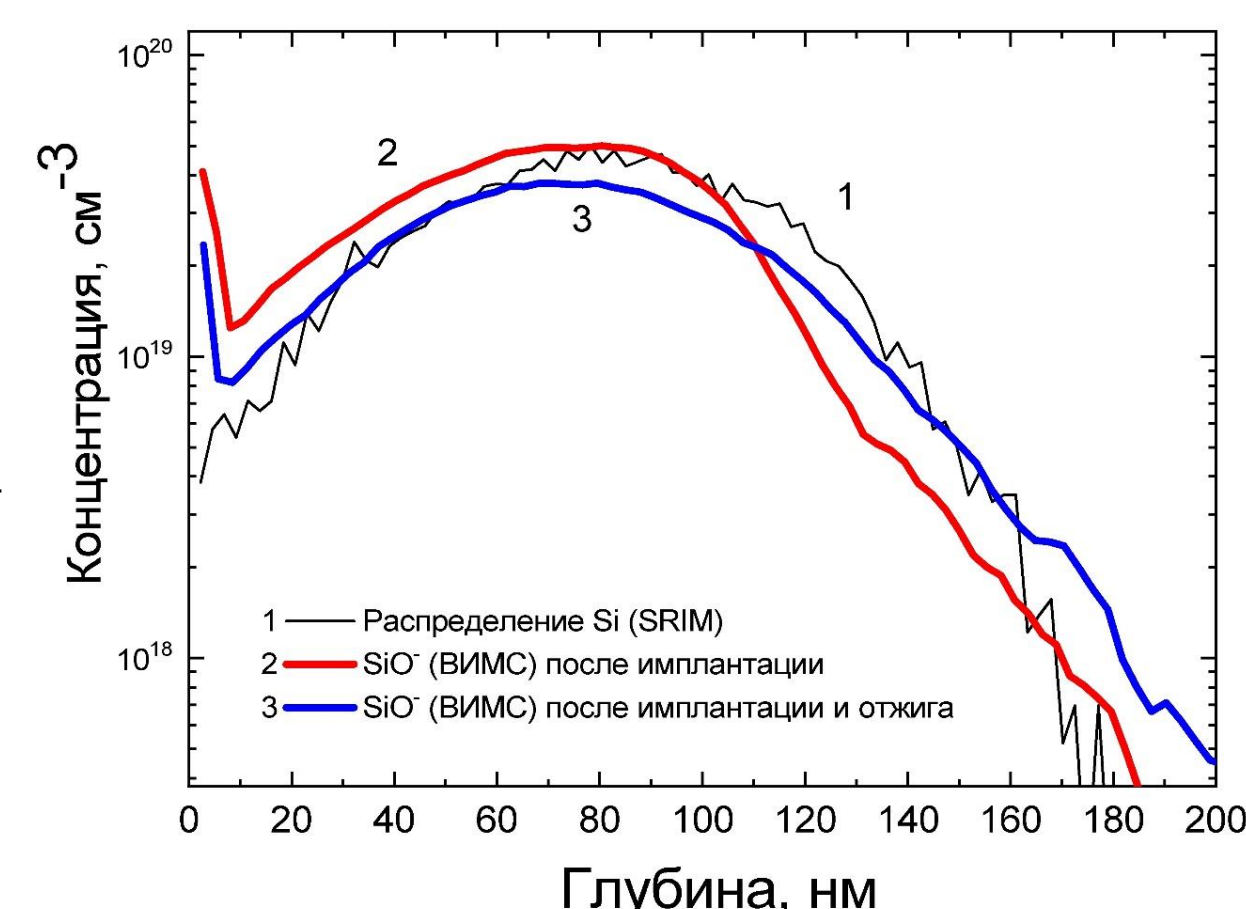


Рис. 3. ВИМС образцов β -Ga₂O₃, облученных ионами Si⁺ до и после отжига, для сравнения приведен расчёт по SRIM профиля распределения ионов.

При отжиге облученных образцов при 950 °C распределение примесей в случае Si⁺ практически не изменяется.

Заключение

Такими образом, исследовано поведение ионно-внедренной примеси кремния в β -Ga₂O₃ (-201). Изучены структурные и электрические свойства облученных слоев. Показано наличие n-типа проводимости в образцах после имплантации и отжига, а также аномальная активация примеси.