

Импульсная ионная обработка и термический отжиг сапфира, имплантированного ионами хрома

Р.И. Баталов, Г.А. Новиков, Д.А. Файзуллин, Н.В. Курбатова, К.И. Герасимов
 Казанский физико-технический институт, ФИЦ КазНЦ РАН (batalov@kfti.knc.ru)

Аннотация.

Кристалл рубина (матрица сапфира Al_2O_3 с примесью ионов Cr^{3+}) является активной средой для импульсных лазеров на длине волны 0.694 мкм, начиная с 60-х годов. При этом актуальной научной и практической задачей является создание компактных и тонкопленочных лазеров, а также различных датчиков, чувствительных к механической деформации или к изменению температуры. Эти воздействия влияют на положение R-линии люминесценции ионов Cr^{3+} . В данной работе изучалось легирование приповерхностной области кристалла сапфира ионами Cr^+ с помощью ионной имплантации и последующей импульсной ионной обработки (ИИО) в режиме расплава или термического отжига (ТО) и возможность получения люминесценции R-линии. Проведено моделирование глубинного профиля ионов Cr^+ в Al_2O_3 , позволившее оценить концентрацию хрома в кристалле (до 2 ат.% в слое 50 нм) до отжига. Проведены сравнительные измерения образцов $Al_2O_3:Cr^+$ после ИИО и ТО на оптическое пропускание и ФЛ. Несмотря на отсутствие в спектрах полос поглощения при 410 и 560 нм, образцы показывают схожую ФЛ R-линии.

Детали эксперимента

Методы формирования слоёв $Al_2O_3:Cr^+$:

- 1) Ионная имплантация (ускоритель ИЛУ-3): $r-Al_2O_3 \leftarrow Cr^+$ ($E = 40$ кэВ, $\Phi = 3.5 \times 10^{13} - 5 \times 10^{15}$ ион/см²)
- 2) Импульсный ионный отжиг (ИИО, ускоритель ТЕМП): $S^+(80\%), H^+(20\%), E = 300$ кэВ, $\tau = 100$ нс, $W = 1.0 - 1.5$ Дж/см²
- 3) Термический отжиг (ТО) в печи:
 $T = 1000$ °C, $t = 30$ мин, среда азота (N_2)

Методы исследования слоёв $Al_2O_3:Cr^+$:

- 1) Моделирование глубинного профиля ионов Cr^+
- 2) Оптическая спектроскопия на пропускание $T(\lambda)$ в области длин волн 200-1100 нм и 1-10 мкм
- 3) Фотолюминесценция (ФЛ) в видимой области при $T = 77$ и 300 К (накачка $\lambda = 405$ нм, 13 мВт)
- 4) Рамановская спектроскопия ($\lambda = 532$ нм, 10-100 мВт)

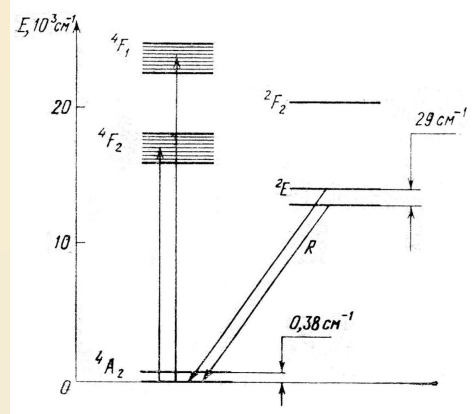


Рис.1. Схема энергетических уровней в рубине ($Al_2O_3:Cr^{3+}$). Зоны $4F_1$ и $4F_2$ обеспечивают поглощение на 410 и 560 нм. Рабочий переход - $2E \rightarrow 4A_2$. Линия R1=694.3 нм, линия R2=692.9 нм.

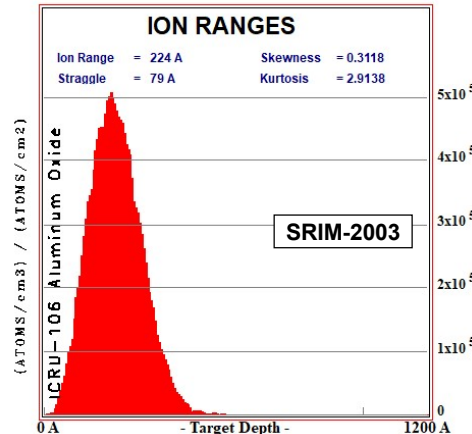


Рис.2. Статистический расчётный по SRIM-2003 глубинный профиль ионов Cr^+ в Al_2O_3 для энергии $E = 40$ кэВ. Пробег: $R_p = 22$ нм, $\Delta R_p = 8$ нм.

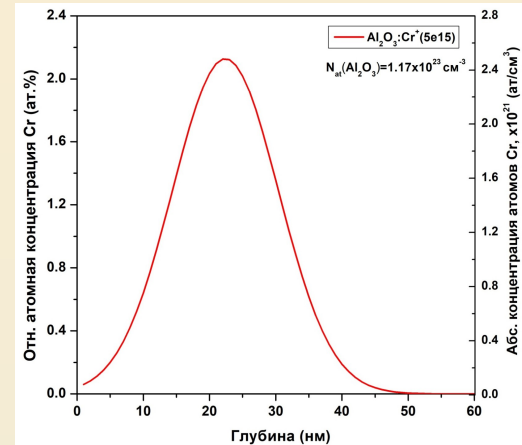


Рис.3. Расчётный (Гауссов) профиль концентрации ионов Cr^+ в Al_2O_3 для энергии $E = 40$ кэВ и максимальной дозы $\Phi = 5e15$ см⁻².

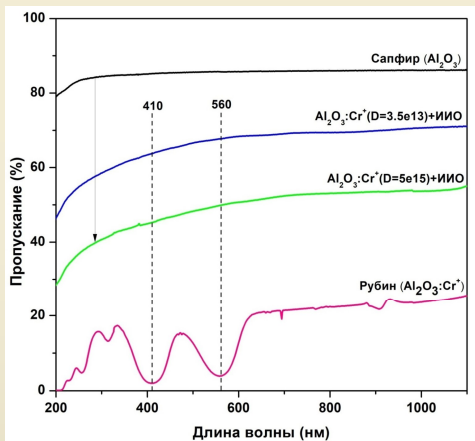


Рис.4. Спектры пропускания от УФ до ИК кристаллов рубина ($\varnothing 10$ мм), бесцветного сапфира и образцов сапфира с ионами Cr^+ после ИИО.

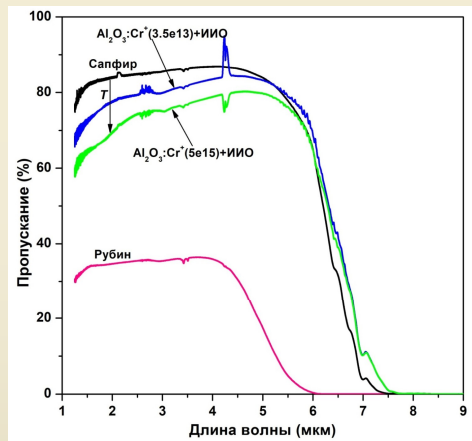


Рис.5. Спектры ИК-пропускания кристаллов рубина ($\varnothing 10$ мм), бесцветного сапфира и образцов сапфира с ионами Cr^+ после ИИО.

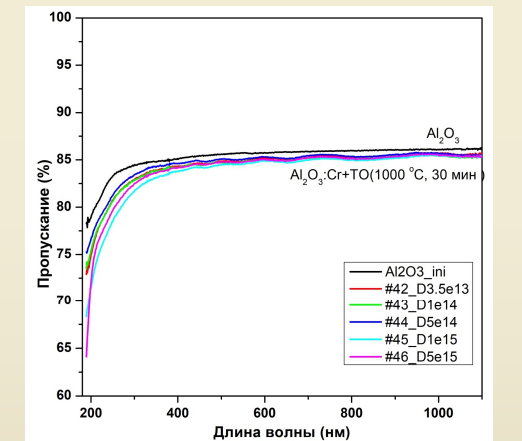


Рис.6. Спектры пропускания от УФ до ИК исходного кристаллов бесцветного сапфира и образцов сапфира с ионами Cr^+ после ТО (1000°C, 30 мин, N_2).

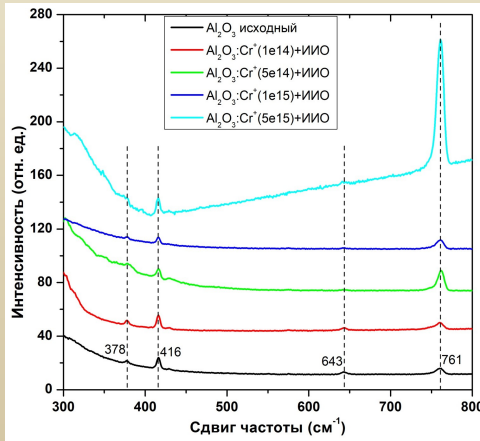


Рис.7. Рамановские спектры исходного и имплантированного хромом сапфира после ИИО.

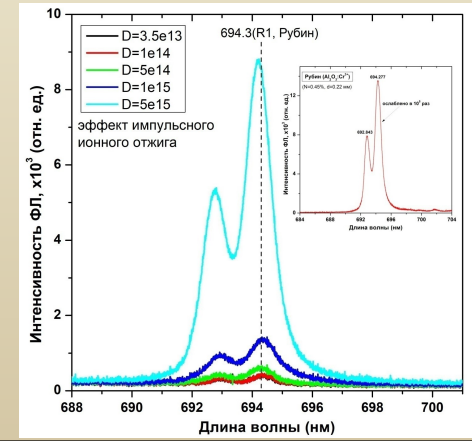


Рис.8. Спектры ФЛ ($T=300$ К) имплантированного сапфира с указанными дозами Cr^+ после ИИО. Вставка – спектр кристалла рубина (0.45%, 0.22 мм)

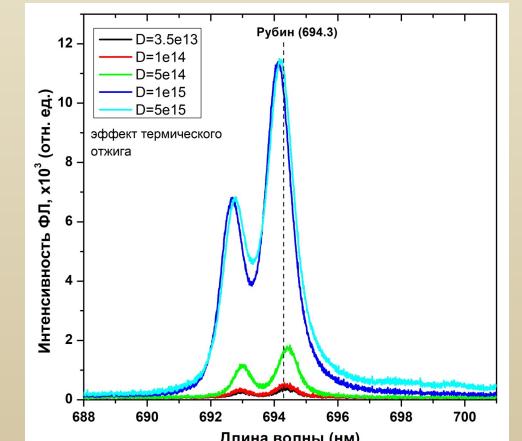


Рис.9. Спектры ФЛ ($T=300$ К) имплантированного сапфира с указанными дозами Cr^+ после ТО.