

ФОТОСТИМУЛИРОВАННЫЙ ОТЖИГ GaP, ИОННОЛЕГИРОВАННОГО Pr

А. М. Гукасян, В. М. Коннов, Н. Н. Лойко

Для отжига образцов фосфида галлия, подвергнутых имплантации ионами празеодима, а также ионами празеодима и лития, использован метод фотостимулированного отжига. По данным фотолюминесценции интенсивность редкоземельного излучения возрастала на образцах, подвергнутых фотостимулированному отжигу, по сравнению с интенсивностью излучения, наблюдаемого на тех же образцах после термоотжига, на 1 — 2 порядка.

В статье /1/ сообщалось о фотостимулированном отжиге ионнолегированных слоев GaAs и GaP. В данной работе проводится сравнение двух методов отжига — термоотжига под защитным покрытием (ТЗП) и фотостимулированного отжига (ФСО) на образцах GaP, имплантированных празеодимом.

Несмотря на общность химических свойств редкоземельных элементов (РЗЭ), внутри редкоземельного ряда наблюдаются две тенденции — снижение химической активности и уменьшение ионного радиуса с ростом массы РЗЭ. Большая часть публикаций, посвященных исследованию редкоземельного (РЗ) излучения с незаполненной 4f-оболочкой в соединениях A_3B_5 , выполнена на образцах, легированных элементами конца РЗ ряда /2/. Исследования внутрицентральной люминесценции редкоземельных ионов в соединениях A_3B_5 , стоящих в начале этого ряда, практически не проводились из-за ряда дополнительных трудностей. Так, в работе /3/ наблюдалась внутрицентровая люминесценция низкосимметричных центров Pr^{3+} в GaP. Однако тонкая структура характеристического РЗ излучения менялась во времени, а само излучение пропадало либо при длительном хранении, либо после слабого термоотжига образцов при 200—300 °С.

Поэтому было интересно опробовать возможности ФСО на кристаллах фосфида галлия, имплантированного элементом начала редкоземельного ряда, а именно — Pr, и сравнить его результаты с результатами, полученными при ТЗП. В качестве исходных образцов использовались эпитаксиальные пленки GaP с концентрацией носителей $\approx 10^{17}$ см⁻³. Процедура приготовления образцов, включая имплантацию, пассивацию, проведение ТЗП и ФСО, описана в работе /1/.

Принято считать, что краевое излучение чувствительно к наличию точечных дефектов в кристалле. В люминесцентном анализе его используют для того, чтобы оценить степень

восстановления кристаллической решетки. При изохронном ТЗП образцов GaP, не подвергнутых ионной имплантации, наблюдается слабая зависимость интенсивности краевого излучения от температуры отжига в диапазоне от 25 до 450 °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к устойчивому спаду интенсивности краевого излучения. При температурах выше 600 °С интенсивность краевого излучения стремительно падает вплоть до исчезновения. На имплантированных образцах интенсивность краевого излучения нарастает при температурах ТЗП от 400 до 600 °С и падает при дальнейшем повышении температуры. Это связано с тем, что в приповерхностных слоях толщиной 2000—3000 Å при температуре ≈ 600 °С образуются многочисленные термодфекты. Концентрация их может быть столь велика, что они оказывают влияние на процессы рекомбинации в областях кристалла, отстоящих от поверхности на расстояние ≈ 1 мкм.

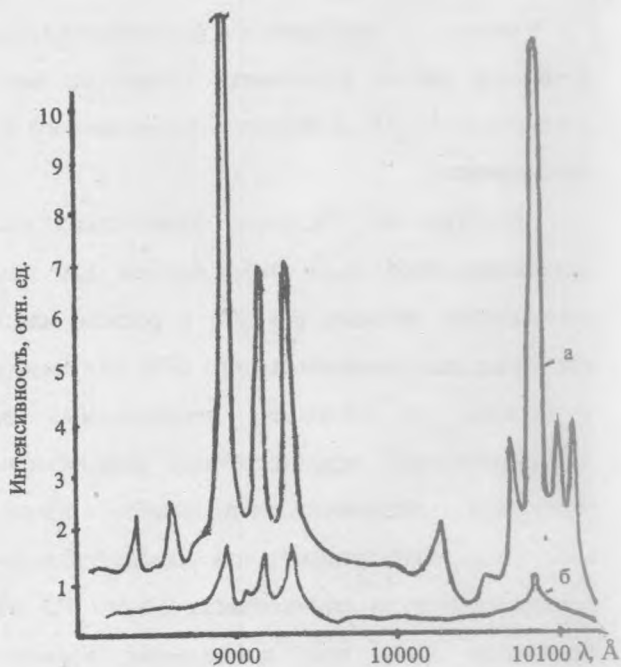
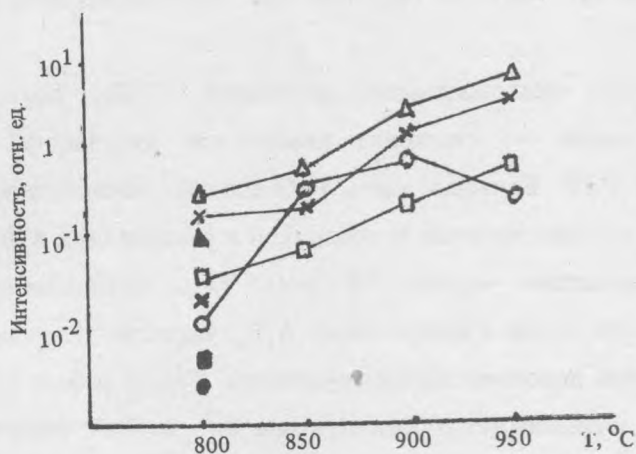


Рис. 1. Зависимости интенсивностей фотолюминесценции GaP:Pr:Li от температуры ФСО для линий излучения Pr 10674 Å (Δ), 8920 Å (×), 10258 Å (□) и краевого излучения GaP 5620 Å (○); ▲, ×, ■, ● — интенсивности соответствующих линий после ТЗП.

Рис. 2. Спектры излучения кристаллов GaP, имплантированного Pr после ФСО при 650 °С (а) и после ТЗП при 650 °С (б).

Зависимость интенсивности внутрицентральной люминесценции, связанной с Pr³⁺ в GaP, от температуры изохронного ТЗП такая же, как и для Yb³⁺ в GaP. Отжиг при температуре 450 °С

приводит к появлению нескольких центров на основе Pr^{3+} . После ТЗП, проведенного при более высоких температурах (650—800 °С), остаются 1—2 устойчивых центра на основе Pr^{3+} /4, 5/.

Для сравнения возможностей двух методов отжига образец GaP, ионнолегированный Pr, был подвергнут ТЗП и ФСО. Этот образец был облучен ионами Pr до концентрации 10^{19} см⁻³. После ТЗП, при котором температуру последовательно повышали до 800 °С, на этом образце был получен характеристический спектр Pr^{3+} в области 1,1 мкм (переход $^1G_4 \rightarrow ^3H_4$). Затем этот образец был имплантирован Li (расчетная концентрация $\text{Li} \approx 10^{19}$ см⁻³) и прошел ТЗП, температура которого изменялась от 300 до 800 °С. После ТЗП при температуре 600 °С было получено характеристическое излучение Pr^{3+} в нескольких спектральных областях: 0,62—0,65 мкм; 0,8—0,9 мкм; 1,00—1,01 мкм; 1,08—1,10 мкм. Это означает, что помимо терма 1G_4 возбуждение фотолюминесценции происходило с участием также и терма 1D_2 . Именно этот образец обладал самым интенсивным внутрицентровым излучением Pr^{3+} . Далее этот образец был подвергнут изохронному ФСО, начиная с температуры 800 °С и выше. Изменение интенсивности ряда линий редкоземельного излучения и полосы 5620 Å в зависимости от температуры показано на рис. 1. На том же рисунке указаны "стартовые" значения интенсивностей и полос после ТЗП при 800 °С. На рис. 1 видно, что интенсивность краевого излучения образца после ФСО растет вплоть до температуры 900 °С. Еще быстрее растет интенсивность излучения внутрицентральной люминесценции, которая по сравнению с "рекордной" интенсивностью излучения внутрицентральной люминесценции, достигнутой при ТЗП, увеличивается на 1,5—2 порядка. На рис. 2б приведен спектр излучения другого образца GaP, ионноимплантированного только Pr^{3+} , после ТЗП длительностью 5 мин при 650 °С. Затем этот образец был подвергнут ФСО при той же температуре длительностью 5 мин. Его спектр излучения показан на рис. 2а. Видно, что интенсивность внутрицентральной люминесценции возросла более чем на порядок.

Оптические центры на основе РЗЭ, полученные по изложенной технологии (двойная имплантация, пассивация и ФСО), были стабильны во времени и устойчивы к температуре. Использование ФСО для образцов GaP:Pr позволило увеличить температуру отжига и повысить степень активации внутрицентральной люминесценции на 1,5÷2 порядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гукасян А. М., Коннов В. М., Лойко Н. Н. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 4, 44 (1992).
2. Мастеров В. Ф., Захаренков Л. Ф. ФТП, 24, 610 (1990).
3. Касаткин В. А., Кесаманлы Ф. П., Саморуков Б. Е. ФТП, 17, 1879 (1983).
4. Рзакулиев Н. А. Канд. диссерт., ФИАН, М., 1988.
5. Якимкин В. Н. Канд. диссерт., МГУ, М., 1988.

Поступила в редакцию 11 февраля 1992 г.