

ФОТОСТИМУЛИРОВАННЫЙ ОТЖИГ КРИСТАЛЛОВ ФОСФИДА ИНДИЯ, ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИТТЕРБИЕМ

А.М. Гукасян, В.М. Коннов, Н.Н. Лойко

Кристаллы InP, имплантированные Yb, были подвергнуты фотостимулированному отжигу (ФСО). По данным фотолюминесценции ФСО кристаллов InP в температурном диапазоне 600—750 °С, в отличие от термоотжига, не приводил к резкому снижению интенсивности краевого излучения; можно было наблюдать увеличение степени активации Yb³⁺.

Обзор исследований физических свойств соединений A_3B_5 , легированных редкоземельными элементами (РЗЭ), показал, что наиболее изученным материалом является InP, легированный Yb. Считается, что Yb в этой матрице ведет себя как почти идеальная примесь замещения /1/. Хотя для Yb, как и для всех РЗЭ, характерно комплексообразование, тем не менее большая часть центров интерпретируется как изолированные ионы Yb^{3+} . Такая ситуация, на наш взгляд, сложилась по следующим причинам. По сравнению с другими РЗЭ Yb является самым химически инертным и обладает самыми малыми значениями ионных радиусов. В то же время постоянная решетки у кристаллов InP больше, чем у кристаллов GaP и GaAs.

InP, легированный Yb, является хорошим тестом для сравнения новых методов отжига ионнолегированных слоев с традиционными. В работе проводится сравнение результатов двух методов отжига — термоотжига под защитным покрытием (ТЗП) и фотостимулированного отжига (ФСО). О фотостимулированном отжиге ионнолегированных слоев GaP и GaAs уже сообщалось /2, 3/. В этих статьях описана процедура приготовления образцов. В качестве исходных образцов в данной работе были взяты монокристаллы InP двух типов: тип А — с концентрацией свободных электронов $n \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и тип В — с $n \approx 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Известно, что кристаллы InP обладают меньшей теплостойкостью по сравнению с кристаллами GaP и GaAs. На рис. 1 показана эволюция интенсивности краевой полосы излучения InP с $\lambda \approx 8790 \text{ \AA}$ для имплантированной и неимплантированной частей кристаллов при изохронном термоотжиге под защитной пленкой SiO_2 . Такое поведение интенсивности можно объяснить следующим образом: в приповерхностных слоях кристаллов образуются многочисленные термодфекты, концентрация их может быть очень велика, и именно они, в основном, определяют протекание рекомбинационных процессов /4/.

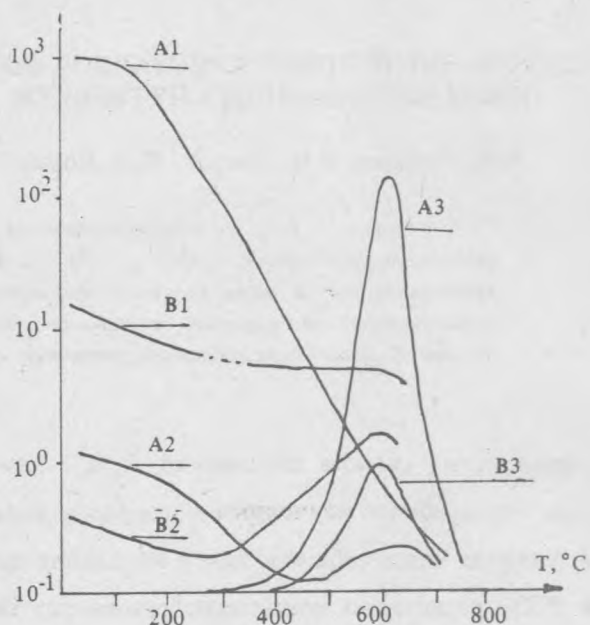


Рис. 1. Изменения интенсивности излучения кристаллов InP типа A и B в ходе изохронного термического отжига под защитной пленкой SiO_2 (ТЗП) для неимплантированной (1) и имплантированной (2) частей кристалла на $\lambda = 8790 \text{ \AA}$ и для излучения изолированных ионов Yb^{3+} (3).

Зависимость интенсивности люминесценции Yb^{3+} в InP от температуры ТЗП также приведена на рис. 1. Активация излучения Yb^{3+} начинается при температуре $\sim 350 \text{ }^\circ\text{C}$. В диапазоне температур $550\text{--}600 \text{ }^\circ\text{C}$ интенсивность люминесценции Yb^{3+} достигает максимума, а при повышении температуры ТЗП резко падает. На рис. 2 показаны спектры фотолюминесценции при 77 K образца InP на разных этапах изохронного ФСО. На рис. 3 показаны зависимости интенсивности краевых полос и внутрицентрового излучения того же образца для имплантированной и неимплантированной частей кристалла от температуры ФСО. Видно, что интенсивность излучения краевых полос при нагреве образца типа А до $600 \text{ }^\circ\text{C}$ возрастает, и только после $600 \text{ }^\circ\text{C}$ начинает снижаться, в отличие от поведения интенсивностей краевых полос при ТЗП. Степень активации Yb^{3+} была по крайней мере не меньше, чем при ТЗП. На образцах типа А при температурах ТЗП $580\text{--}600 \text{ }^\circ\text{C}$ уже шло распыление тех участков, где было сосредоточено много ростовых дефектов. Образцы типа В в процессах ТЗП выдерживали температуру $700 \text{ }^\circ\text{C}$. В процессе ФСО образцы типа А можно было нагревать до температуры $700 \text{ }^\circ\text{C}$ и типа В — свыше $800 \text{ }^\circ\text{C}$, при этом видимых нарушений кристаллов не наблюдалось. Это позволило, как в случае GaP:Yb [3/,

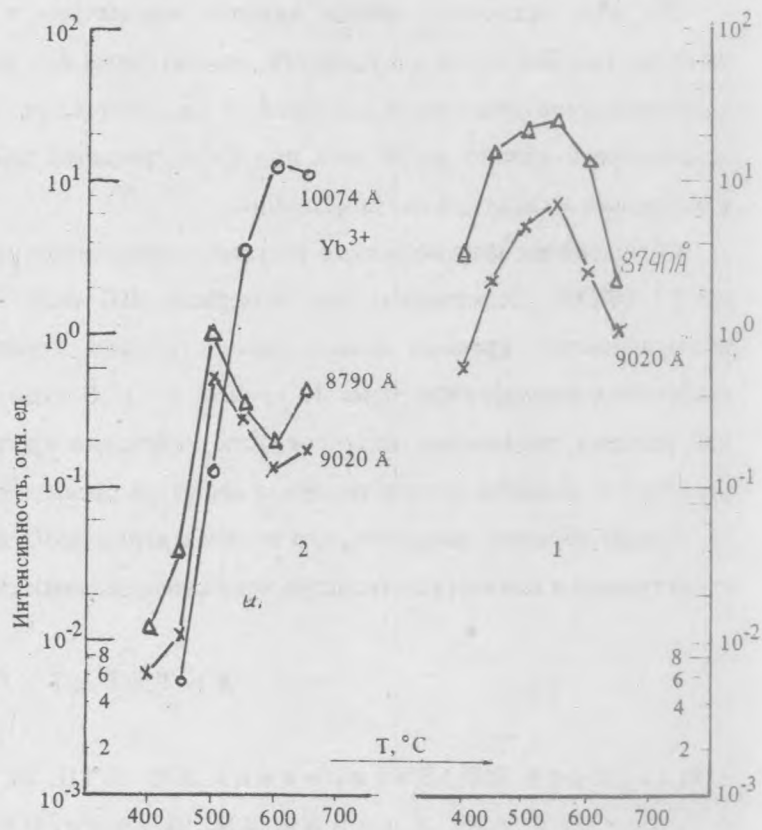
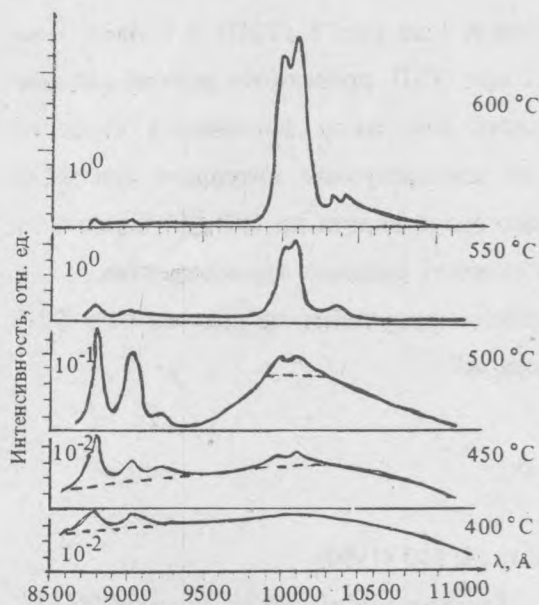


Рис. 2. Изменения спектра фотолюминесценции кристалла InP типа А, имплантированного Yb, с ростом температуры ФСО.

Рис. 3. Изменения интенсивностей краевых полос и внутрицентрального излучения образца 1 типа А в зависимости от температуры Т ФСО для неимплантированной (1) и имплантированной (2) частей образца.

активировать внутрицентровую люминесценцию Yb^{3+} в тех образцах InP, для которых при ТЗП не была получена такая люминесценция. Проиллюстрируем сказанное двумя примерами. Образец 1 типа А был подвергнут изохронному ТЗП до температуры 500 °С, но характеристическое излучение Yb^{3+} получено не было. ФСО этого образца при температуре 700 °С в течение 5 мин привел к появлению редкоземельного излучения, при этом интенсивность излучения Yb^{3+} была так велика, что образец 1 был причислен к лучшим образцам. Так же обстояли дела с образцом 3 (тип А), ТЗП которого не привел к активации Yb^{3+} , и на котором после ФСО можно было наблюдать рекордную для наших образцов интенсивность излучения Yb^{3+} .

Что касается образцов типа В, то интенсивность редкоземельного излучения после ФСО была слабой, примерно на два порядка ниже, чем у образцов типа А, и приблизительно такой же, как и у образцов типа В, прошедших ТЗП.

По всей видимости, самым важным параметром в процессах ФСО, как и ТЗП, является температура. Все основные процессы, характерные для данной температуры: перестройка центров, взаимодействие дефектов и примесей, и т.д., протекают за время менее 5 мин, так как увеличение длительности отжига до 30 мин при фиксированной температуре не приводило к качественным изменениям в спектрах люминесценции.

Обращает на себя внимание результат сравнения кривой А 1 на рис. 1 (ТЗП) и кривых 1 на рис. 3 (ФСО). В температурном интервале 400—600 °С при ТЗП происходит резкое падение интенсивностей краевых полос люминесценции кристаллов InP из-за увеличения скорости введения термодфектов (рис. 1, кривая А 1). В этом же температурном интервале при ФСО наблюдается увеличение интенсивности излучения краевых полос вплоть до 600 °С (кривые 1, рис. 3), т.е. скорость отжига точечных дефектов превышает скорость введения термодфектов.

Таким образом, показано, что использование ФСО позволяет улучшить по сравнению с ТЗП структурные и оптические свойства ионнолегированных слоев InP.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мастеров В.Ф., Захаренков Л.Ф. ФТП, 24, вып. 4, 610 (1990).
2. Гук а с я н А.М., Ко н н о в В.М., Ло й ко Н.Н. Краткие сообщения по физике ФИАН, №3/4, 44 (1992).
3. Гук а с я н А.М., Ко н н о в В.М., Ло й ко Н.Н. Краткие сообщения по физике ФИАН, №3/4, 47 (1992).
4. Я к и м к и н В.Н. Канд. дисс., МГУ, Москва, 1988.

Поступила в редакцию 10 апреля 1992 г.