

УДК 621.315.592

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ InP , ПОДВЕРГНУТОГО СОВМЕСТНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ Yb и F , O ИЛИ Li

В. М. Коннов, Н. Н. Лойко

Проведены исследования фотолюминесценции кристаллов InP , подвергнутых совместной имплантации Yb и одним из соактиваторов F , O или Li . Увеличение интенсивности редкоземельного излучения наблюдается во всех случаях, однако наиболее эффективным соактиватором является, по-видимому, кислород.

Влияние межпримесного взаимодействия на излучательные характеристики полупроводников, легированных редкоземельными (РЗ) элементами, известно. Так, введение Li существенно увеличивает интенсивность РЗ излучения в соединениях A_2B_6 [1], а дополнительное легирование кислородом таким же образом влияет на интенсивность излучения иона Er^{3+} в кремнии [2] и $GaAs$ [3].

В данной работе изучалась фотолюминесценция (ФЛ) фосфида индия, подвергнутого двойной имплантации: Yb и одним из соактиваторов O , F или Li .

Ранее нами были проанализированы профили распределения Yb , Li и F , имплантированных в кристаллы InP [4]. Оказалось, что межпримесное взаимодействие наблюдается только в случае совместной имплантации Yb и F .

В качестве исходных образцов использовались эпитаксиальные пленки InP . Для получения равномерно легированного слоя толщиной $\sim 1700 \text{ \AA}$ образцы облучались ионами ^{174}Yb с использованием следующих энергий: 20, 71, 241 и 700 кэВ. Режимы имплантации соактиваторов подбирались таким образом, чтобы получить равномерно легированные соответствующей примесью слои той же толщины, как и Yb , и с такой же расчетной концентрацией. При имплантации ионов Yb облучалась вся рабочая поверхность образца, а ионов соактиватора O , F или Li – только половина образца. После имплантации образцы покрывали защитной пленкой Si_3N_4 толщиной $\sim 1500 \text{ \AA}$ при температуре не более $200^\circ C$ и отжигали при температуре $580^\circ C$ в течение 5 минут

Предварительные эксперименты показали, что это оптимальный режим фотостимулированного отжига (ФСО) для восстановления кристаллической решетки InP после имплантации и оптической активации ионов Yb^{3+} .

В спектрах ФЛ исходных эпитаксиальных пленок InP , измеренных при 77 K , доминировали полосы краевых излучений на длинах волн 8780 \AA и 9010 \AA . Основными фоновыми примесями в этих пленках были Si и Te , которые принимают участие в формировании полос краевых излучений фосфида индия. После ФСО интенсивности краевых полос излучения на контрольных неимплантированных образцах уменьшились приблизительно на порядок.

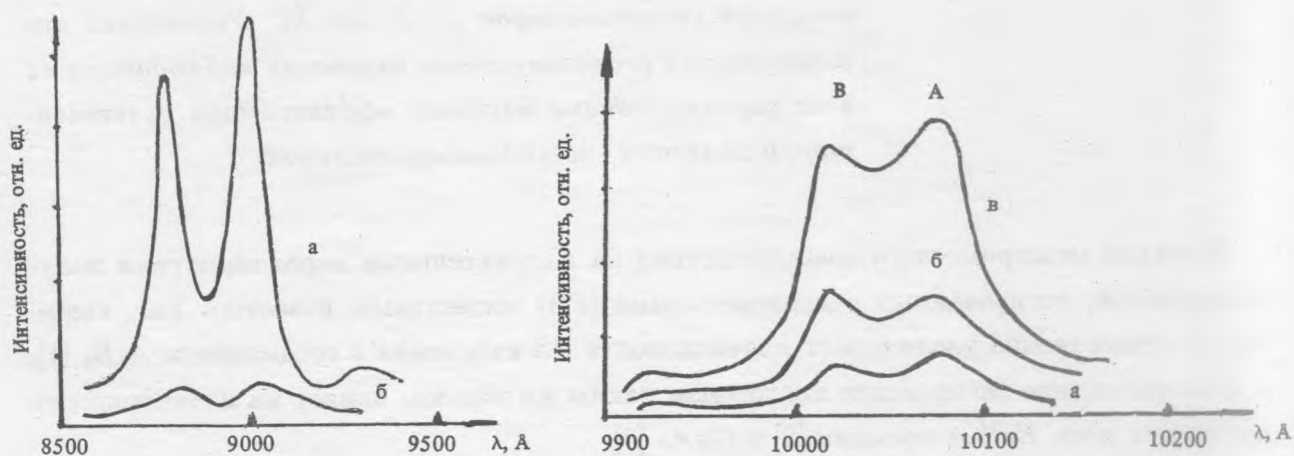


Рис. 1. Спектры ФЛ образца InP , одна половина которого имплантирована только ионами Yb (а), вторая половина - ионами Yb и Li (б). $T = 77\text{ K}$.

Рис. 2. Спектры излучения Yb^{3+} при 77 K эпитаксиальных пленок InP , имплантированных Yb до концентрации 10^{19} см^{-3} (а), Yb и F до концентрации 10^{19} см^{-3} (б), Yb и O до концентрации 10^{17} см^{-3} (в).

Сравнение интенсивностей полос краевого излучения, полученных после ФСО на образцах InP , одна часть которых была имплантирована только Yb , а другая Yb и Li до концентрации 10^{17} см^{-3} , показывает, что дополнительная имплантация Li приводит к понижению интенсивности краевых полос на порядок (рис. 1). ФСО образцов InP с расчетной концентрацией примеси более 10^{18} см^{-3} , так же как и повышение температуры отжига до $600 - 650^\circ\text{C}$, не приводили к восстановлению краевого излучения, а при температурах выше 650°C происходило разрушение образца.

На спектрах ФЛ, связанных с излучением иона Yb^{3+} , видны два максимума (А и В на рис. 2). Положение максимума А колеблется для разных образцов в пределах от 10074 \AA до 10080 \AA (полуширина 40 \AA), пик В лежит в диапазоне $10016 \text{ \AA} - 10020 \text{ \AA}$ (полуширина $15 - 20 \text{ \AA}$). В большинстве случаев отношение интенсивностей пиков $I_B : I_A$ составляет 0.9. Увеличение концентрации Yb до 10^{19} см^{-3} , так же как и введение соактиватора O , F или Li , не вызывало качественных изменений в спектрах редкоземельного излучения.

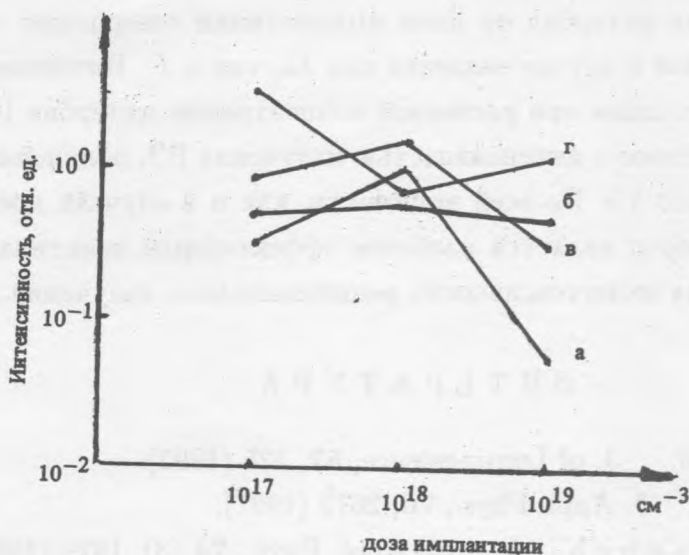


Рис. 3. Зависимость интенсивности полосы 10080 \AA (пик А) в спектрах излучения Yb^{3+} от расчетной концентрации имплантированного Yb для образцов InP при имплантации только Yb (а), Yb и F (б), Yb и Li (в), Yb и O (г).

На рис. 3 показана зависимость интенсивности пика А от расчетных концентраций имплантированного Yb и соактиваторов для разных образцов. Видно, что все кривые имеют точку перегиба при концентрации 10^{18} см^{-3} , что, вероятно, связано с пределом растворимости иттербия в кристаллах InP . Ход кривых для образца, имплантированного только Yb , и образца, подвергнутого двойной имплантации Yb и Li , совершенно идентичен (рис. 3, кривые а и в). Это, по-видимому, можно объяснить полученными в работе [4] результатами, из которых следует, что после ФСО Li уходит из имплантированного Yb слоя, диффундируя в объем кристалла. Тем не менее, интенсивность РЗ излучения после двойной имплантации при расчетной концентрации $Yb \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ возрастает приблизительно в 4 раза. Вероятно, в этом случае влияние соактиватора

сводится к тому, что в образце после двойной имплантации содержится больше остаточных дефектов, таких как вакансии In , и это облегчает встраивание ионов Yb^{3+} в кристаллическую решетку. Об увеличении количества остаточных дефектов в таких образцах свидетельствует понижение интенсивности полос краевых излучений (рис. 1). По этой же причине введение фтора тоже приводит к увеличению интенсивности излучения иона Yb^{3+} и делает его стабильным и не зависящим от дозы имплантации (рис. 3, кривая б). При совместной имплантации Yb и O в кристаллы InP зависимость интенсивности излучения иттербия от дозы имплантации совершенно отличается от зависимости, наблюдаемой в случае введения как Li , так и F . Интенсивность излучения иона Yb^{3+} возрастает даже при расчетной концентрации иттербия 10^{19} см^{-3} более чем на порядок по сравнению с интенсивностью излучения РЗ, полученной на образце, имплантированном только Yb . По всей видимости, как и в случаях кремния и $GaAs$, в кристаллах InP кислород является наиболее эффективным соактиватором, однако механизм его воздействия на интенсивность редкоземельного излучения пока не ясен.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hommel D. et al., J. of Luminescence, **52**, 325 (1992).
- [2] Michel J. et al., J. Appl. Phys., **70**, 2672 (1991).
- [3] Takahеi K., Taguchi A., J. Appl. Phys., **74** (3), 1979 (1993).
- [4] Бородин О. М., Коннов В. М., Лойко Н. Н. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 9 - 10, 11 (1993).

Поступила в редакцию 28 декабря 1993 г.