

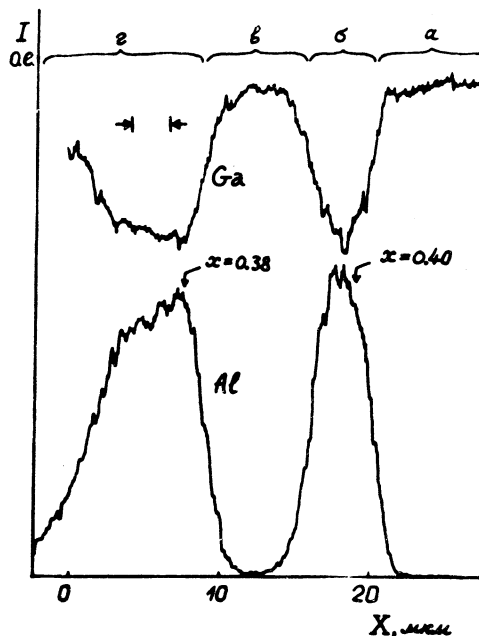
ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ $Al_xGa_{1-x}P$

А. П. Богатов, Л. М. Долгунов, Л. В. Дружинина,
П. Г. Едусев, Е. Г. Шевченко

Недавно было показано, что при интенсивной оптической накачке GaP на переходах, связанных с изоэлектронными ловушками Γ или Bi , может быть получено оптическое усиление /2/. В связи с этим представляет интерес возможность создания инжекционного лазера на основе GaP с более короткими длинами волн, чем это до сих пор достигалось с помощью прямозонных твердых растворов (т.е. короче чем 0,63 мкм). Электролюминесценция p-n переходов в GaP с различным легированием уже описана в ряде работ /2-3/. Для получения вынужденного излучения целесообразно использовать гетеропереходы, например, $GaP - Al_xGa_{1-x}P$, в которых можно надеяться получить более высокий уровень возбуждения, чем в p-n переходах. Электролюминесцентные свойства таких гетеропереходов ранее не описывались.

В настоящей работе были изучены монокристаллические гетероструктуры на основе GaP и твердых растворов $Al_xGa_{1-x}P$, в которых излучающим слоем служил GaP, легированный азотом. Слои изготавливались методом жидкостной эпитаксии. Для обеспечения проводимости слой GaP:n был легирован также теллуром. В одном случае гетероструктура была аналогична двойной гетероструктуре на $Al_xGa_{1-x}As$. В такой гетероструктуре (ДГС) излучающий слой толщиной несколько микрон был заключен между двумя слоями $Al_xGa_{1-x}P$, один из которых был легирован Te, другой Zn. В другой, односторонней гетероструктуре (ОГС) широкозонный слой p-типа (с примесью Zn) имелся только с одной стороны. Величина x была около 0,4. Типичное распределение составов по данным рентгеновского микроанализа для одной из ДГС показано на рис. 1. Уровень легирования азотом был в диапазоне $10^{17} - 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Исследовались спектры излучения гетероструктур, испускаемого вдоль плоскости $p-n$ перехода через склослужу боковую грань, на постоянном токе в интервале $10-10^5$ а/см².

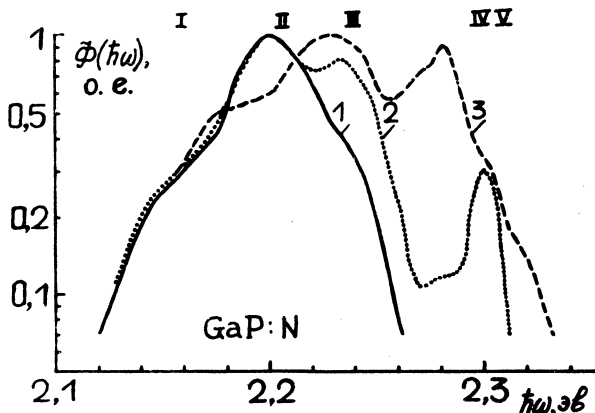


Р и с. 1. Профиль составов $Al_xGa_{1-x}P$ в двойной гетероструктуре по данным рентгеновского микроанализа по линиям $K_{\alpha 1}$.
 а - подложка GaP, о $Al_xGa_{1-x}P$ n-типа, в - GaP:N,
 г - $Al_xGa_{1-x}P$ p-типа

Влияние примеси N было прослежено сравнением ДПС с аналогичной гетероструктурой без легирования азотом. В отсутствие N интенсивность излучения в зеленой полосе между 2,10 и 2,30 эв была более чем на порядок слабее; максимум излучения при 77°K приходился на 2,20 эв и мог быть интерпретирован как излучательная рекомбинация на донорно-акцепторных парах.

Влияние гетероперехода было прослежено сравнением со структурой, аналогичной ОПС, но без добавления AlP в p-область

(т.е. с эпитаксиальным p-n переходом). Интенсивность излучения такого p-n перехода была при 77°K сравнимой с ОГС и выше, чем ДГС. Спектральное распределение излучения этих структур при 77°K и плотности прямого тока 70 а/см² дано на рис. 2. Сверху римскими цифрами обозначено положение полос, обычно наблюдающихся в зе-



Р и с. 2. Спектры излучения диодов на GaP:N. 1) p-n переход, 2) ОГС, 3) ДГС. Ток 70 а/см², охлаждение жидким азотом. Римские цифры вверху показывают расположение характерных линий люминесценции GaP /2/.

ленной электролюминесценции GaP /2/. В согласии с прежними данными об этих полосах, излучение p-n перехода (кривая 1) содержит полосу 2,20 эв и плечо 2,16 эв (полосы II и I), обусловленные донорно-акцепторными парами. Переходя к ОГС (2) и ДГС (3) мы можем видеть, что длинноволновое крыло зеленой полосы мало изменяется, тогда как с коротковолновой стороны возрастает полоса III (рекомбинация через донорный уровень) и значительно возрастает интенсивность в области полос IV и V (распад экситона, локализованного на атоме азота). Как известно, полосы связанные с N, в обычных p-n переходах появляются при более высокой температуре. Здесь наблюдалась при 300°K зеленая полоса 2,19 эв в p-n переходах и 2,24 эв в гетероструктурах. В обоих случаях ширина полосы была 0,055 эв.

Таким образом, характерной особенностью электролюминесценции гетеропереходов $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P} - \text{GaP:N}$ является возбуждение как при высокой, так и при низкой температуре наиболее коротковолновых зеленых полос, связанных с участием изоэлектронных ловушек N. Спектр электролюминесценции оказывается более близким к хорошо известным спектрам низкотемпературной фотолюминесценции GaP:N /3/, что позволяет предположить, что с помощью гетероперехода $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P} - \text{GaP}$ может быть получена эффективная инжекция в GaP. На данном этапе работы достижению большого уровня возбуждения электролюминесценции препятствует значительное последовательное сопротивление гетероструктур при низкой температуре, связанное с отсутствием вырождения в толще диода.

Для получения инверсии, естественно, предпочтительнее низкие температуры и вырождение p- и n-областей. Известно, однако, что в случае гетеропереходов необходимость вырождения может быть снята /4/.

Авторы благодарят Ф. А. Гиммельфарба за рентгено-спектральные исследования образцов.

Поступила в редакцию
15 мая 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. R. E. Nahory, K. L. Shaklee, R. F. Leheny, R. A. Logan. *Phys. Rev. Letts.*, 27, 1647 (1971).
2. M. R. Lorenz, T. N. Morgan, M. Pilkuhn, G. D. Pettit. *J. Phys. Soc. Japan, Suppl.* 21, 283 (1966).
3. А. Э. Юнович, В сб. Излучательная рекомбинация в полупроводниках. "Наука", М., 1972 г., стр. 224.
4. Ж. И. Алферов, В. М. Андреев, Е. Л. Портной, М. К. Трукан. *ФТП*, 3, 1328 (1969).