

- [3] Х е р м а н И., В и л ь г е л ь м и В. Лазеры сверхкоротких световых импульсов. М.: Мир, 1986. 368 с.
- [4] Vanherzeele H., Van Eск J.L., Siegman A.E.- Appl. Opt. 1981, v. 20, N 20, p. 3484-3486.
- [5] Прохоренко В.И., Тихонов Е.А., Яцкив Д.Я., Буныманин Е.Н. - Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 4, с. 804-810.
- [6] Прохоренко В.И., Тихонов Е.А., Яцкив Д.Я. - Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, в. 9, с. 549-552.
- [7] Даугвила А., Дерингас А., Кабелка В., Масалов А., Миляускас А. - Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 7, с. 1631-1632.

Поступило в Редакцию
6 августа 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 1 12 января 1988 г.

**"ФИОЛЕТОВЫЕ" $pAlGaAs-pGaAs-nGaAs$ -ФОТОЭЛЕМЕНТЫ
СО СВЕРХТОНКИМИ (30-300 Å) ШИРОКОЗОННЫМИ СЛОЯМИ**

Ж.И. А л ф е р о в, В.М. А н д р е е в, А.А. В о д н е в,
В.Р. Л а р и о н о в, А.В. Н и к и т и н, Т.А. П р у ц к и х,
В.Д. Р у м я н ц е в

Увеличение чувствительности в коротковолновой области спектра в полупроводниковых фотоэлементах достигается пассивацией поверхности для снижения скорости поверхностной рекомбинации, созданием тянущих квазиэлектрических полей за счет градиента концентрации легирующих примесей или градиента ширины запрещенной зоны, а также уменьшением толщины фронтальных слоев в структурах с гомо- и гетеропереходами.

В $AlGaAs-GaAs$ гетерофотоэлементах [1-4] расширение чувствительности в коротковолновую область спектра обеспечивается уменьшением толщины широкозонного "окна" - фронтального слоя твердого раствора $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.7-0.9$), что было продемонстрировано, например, в работах [2-4] созданием фотоэлементов на основе гетероструктур с толщиной широкозонного слоя 300-1000 Å.

В настоящей работе приводятся результаты исследования фотоэлементов на основе структур $nGaAs-pGaAs-pAl_xGa_{1-x}As$ со сверхтонкими широкозонными слоями твердых растворов $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.7-0.9$) толщиной до 30 Å. Структуры получались низкотемпературной жидкофазной эпитаксией, обеспечивающей прецизионную кристаллизацию слоев толщиной менее 10^{-2} мкм [5, 6]. Исследовано влияние трех параметров структуры на спектральное распределение коэффициента сбора: толщины (d) слоя $pGaAs$, толщины

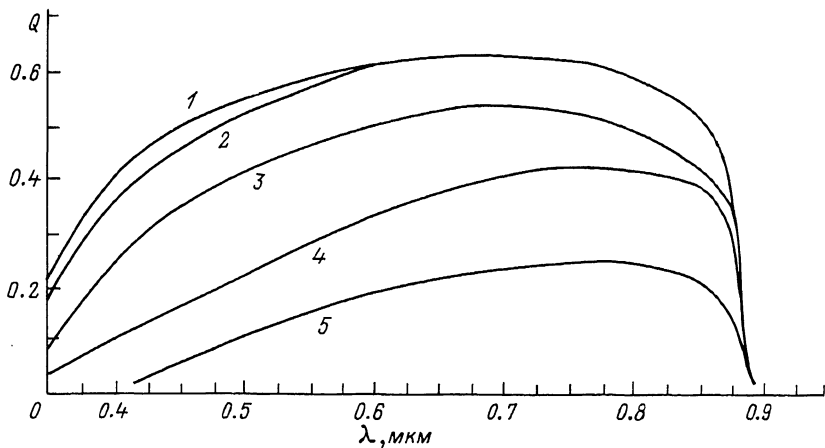


Рис. 1. Спектры фотоответа гетерофотоэлементов $nGaAs-pGaAs-pAl_xGa_{1-x}As$ без просветляющего покрытия с толщиной слоя $pGaAs$ 0.2 мкм и различными значениями параметра x в слоях твердого раствора, толщиной $w=100 \text{ \AA}$: 1 - 0.9; 2 - 0.7; 3 - 0.5; 4 - 0.15; 5 - $x=0$.

(w) и состава фронтального слоя твердого раствора $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.15-0.95$).

На первом этапе работы для выяснения влияния толщины слоя было исследовано пять серий образцов с фиксированными толщинами ($w=30, 100, 300, 500, 1000 \text{ \AA}$) широкозонного слоя $pAl_xGa_{1-x}As$ ($x \approx 0.8$), варьируемым параметром в которых являлась толщина (d) слоя $pGaAs$. Было установлено, что при данных значениях w на спектры фотоответа не оказывает влияние изменение толщины слоя $pGaAs$ в диапазоне $d=0.2-2$ мкм, что свидетельствует об эффективном разделении фотоносителей, генерированных в $GaAs$ при изменении глубины залегания р-р-перехода в указанном диапазоне. Спектр фотоответа для образца с толщиной слоя $pAl_{0.9}Ga_{0.1}As$ $w=100 \text{ \AA}$ и $d(pGaAs)=2$ мкм показан кривой 1 на рис. 1. Такой же спектр имели и образцы с $d=0.7; 0.4$, и 0.2 мкм.

Влияние состава слоя твердого раствора на спектры фотоответа исследовано в структурах с толщиной слоя твердого раствора $w=100 \text{ \AA}$. Из рис. 1 следует, что с уменьшением содержания $AlAs$ в слое твердого раствора $Al_xGa_{1-x}As$ от $x=0.7-0.9$ (кривые 1, 2) до $x=0.15$ (кривая 4) снижение фотоответа происходит не только при энергии квантов большей ширины запрещенной зоны, но и при $h\nu < E_g$, т. е. в "полосе прозрачности" твердых растворов.

Такой вид спектров в исследуемых образцах отличается от поведения структур с более толстыми слоями твердого раствора, фотоответ в которых в "полосе прозрачности" слоя твердого раствора

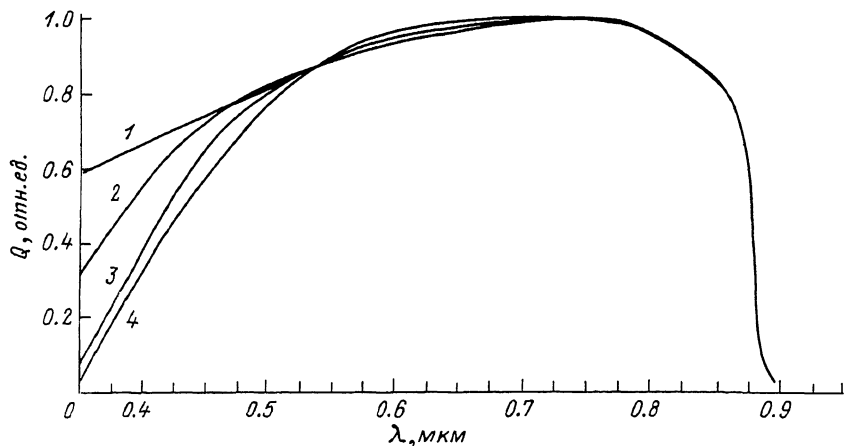


Рис. 2. Спектральное распределение коэффициента собирания четырех фотоэлементов $nGaAs-pGaAs-pAl_xGa_{1-x}As$ с толщинами ω слоя твердого раствора, Å: 1 - 30, 2 - 100, 3 - 300, 4 - 1000 без просветляющих покрытий.

имеет почти постоянное максимальное значение Q_{\max} , не зависящее от состава твердого раствора [1]. Причина снижения Q_{\max} при уменьшении E_g твердого раствора в рассматриваемых структурах с $\omega \approx 100$ Å заключается, по-видимому, в увеличении вероятности туннельного выброса фотоносителей из $GaAs$ в объем твердого раствора и на его поверхность при уменьшении высоты потенциального барьера, разделяющего область генерации носителей тока и поверхность структуры с высокой скоростью поверхностной рекомбинации. При увеличении концентрации $AlAs$ в слоях твердых растворов $Al_xGa_{1-x}As$ до $x=0.7-0.9$ ширина запрещенной зоны фронтального слоя оказывается достаточной для создания потенциального барьера, препятствующего рекомбинации носителей тока на поверхности структуры, что и обеспечивает практически полное разделение фотоносителей, генерированных в $GaAs$ (кривые 1, 2 рис. 1). Наиболее важной является зависимость фототока в коротковолновой (фиолетовой) области спектра от толщины широкозонного слоя $Al_xGa_{1-x}As$ ($x=0.7-0.9$). На рис. 2 приведены спектры фоточувствительности четырех фотоэлементов с толщиной слоя $pGaAs$ $d=0.4$ мкм и с толщинами слоя $Al_{0.7}Ga_{0.3}As$ $\omega=30, 100, 300, 1000$ Å. Видно, что с уменьшением толщины $\omega=1000$ Å (кривая 4) до 30 Å (кривая 1) наблюдается увеличение фоточувствительности при $\lambda < 0.45$ мкм, что связано с уменьшением поглощения коротковолнового излучения в супертонком слое твердого раствора и снижением потерь, обусловленных поверхностной рекомбинацией. Максимальное значение коэффициента собирания Q_{\max} , получаемое в спектральном диапазоне 0.6-0.8 мкм, в фотоэлементах без

просветляющих покрытий составляет $R_{\text{макс}} \approx 0.65$ (после коррекции на отражение $R_{\text{макс}} \approx 0.9$), и при уменьшении ω от 0.1 мкм до 30 Å величина $R_{\text{макс}}$ не уменьшается, что свидетельствует о сплошности и планарности кристаллизуемых сверхтонких широкозонных слоев. В образцах с максимальной коротковолновой чувствительностью (кривая 1, рис. 2) небольшой спад фотоответа при уменьшении λ частично обусловлен увеличением оптических потерь на отражение от свободной, непросветленной поверхности.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность увеличения фотоответа в фиолетовой области спектра путем уменьшения толщины широкозонного „окна“ ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $x = 0.7-0.9$) до значений менее 100 Å при сохранении высокой величины фотоответа в остальной части спектра при $\lambda = 0.45-0.9$ мкм.

В заключение авторы выражают признательность С.Г. Конникову и К.Ю. Погребницкому за проведение измерений супертонких слоев методом ОРФЭС и В.П. Хвостикову за помощь при изготовлении образцов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Андреев В.М., Головнер Т.М., Каган М.Б., Королева М.С., Любашевская Т.Л., Нуллер Т.А., Третьяков Д.Н. – ФТП, 1973, т. 7, в. 12, с. 2289-2296.
- [2] Аллахвердиев А.М., Егоров Б.В., Лангратов В.М., Трошков С.И. – ЖТФ, 1982, т. 52, в. 11, с. 2312-2314.
- [3] Андреев В.М., Румянцев В.Д., Салиева О.К., Сараджишвили Н.М., Сулима О.В. – ЖТФ, 1985, т. 55, в. 6, с. 1124-1129.
- [4] Hamaker H.C., Ford C.W., Werthen J.G., Virshup G.F., Kaminar N.R., King D.L., Gee I.M. – Appl. Phys. Lett., 1985, v. 47, N 1, p. 762-764.
- [5] Андреев В.М., Ивентьева О.О., Конников С.Г., Погребницкий К.Ю., Пурон Э., Сулима О.В., Фалеев Н.Н. – Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 9, с. 533-537.
- [6] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Врднев А.А., Конников С.Г., Ларионов В.Р., Погребницкий К.Ю., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. – Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 18, с. 1089-1093.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
5 сентября 1987 г.