

06.2;06.3

©1993

## ДЛИННОВОЛНОВОЕ ОЧУВСТВЛЕНИЕ GaP-ФОТОДИОДОВ ПОСРЕДСТВОМ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО ЗАРАЩИВАНИЯ СТРУКТУР СЛОЕМ GaAs

*Л.М.Канская, А.Г.Кечек, В.В.Криволапчук,  
М.Г.Мынбаева, Н.К.Полтаев, Л.М.Федоров*

В последнее десятилетие резко возрос интерес к созданию, изучению и использованию фотоприемников различного типа, очувствленных в длинноволновую область спектра [1-4]. Фотодетекторы, чувствительные к инфракрасному излучению, отвечая задачам современной оптоэлектроники, представляют вместе с тем самостоятельный научный интерес, поскольку механизмы переноса энергии и заряда в различных МПФ-фотодетекторных структурах исключительно многообразны и в каждом случае требуют нестандартного подхода.

В настоящей работе описана модельная фотодетекторная структура с  $p-n$  переходом на фосфиде галлия и фотопоглощающим слоем из арсенида галлия, чувствительная в ближней ИК-области.

Схематическое изображение исследуемого образца приведено на рис. 1. Последовательно выращенные методом газофазной эпитаксии слои фосфида галлия образуют  $p-n$  переход на  $n$ -подложке из того же материала. Толщина верхнего  $p$ -слоя составляла 5-8 мкм, нижнего  $n$ -слоя 15-20 мкм. Сверху были вытравлены канавки, глубиной превосходящие толщину  $p$ -слоя GaP (около 15 мкм), которые методом газофазной эпитаксии были зарощены слоем арсенида галлия толщиной около 5 мкм. Электрические омические контакты наносились на верхнюю  $p$ -область  $p-n$  перехода таким образом, чтобы полностью закрыть фосфид галлия, и на проводящую подложку из фосфида галлия (см. рис. 1). Образец освещался либо со стороны фоточувствительных полосок таким образом, что в формировании фототока участвовала максимальная площадь слоев арсенида галлия, либо в боковую грань. Спектральные характеристики фотопроводимости исследовались при температуре образца 78 К с помощью монохроматора МДР-2 стандартным методом синхронного детектирования. Источником света служила галогенная лампа накаливания.

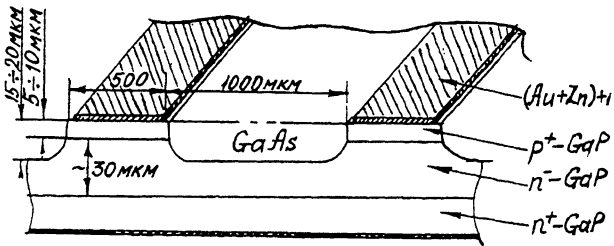
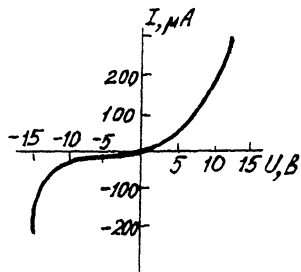


Рис. 1. Схематическое изображение фотодиодной GaP-структуры с зарощенным GaAs-слоем и ее вольт-амперная характеристика при  $T = 300$  К.

На рис. 2 приведены спектральные характеристики исследованных образцов, измеренных в режиме фото-ЭДС при нулевом смещении на  $p-n$  переходе. При нормальном падении света на образец, т.е. максимальной засветке эпитаксиальных слоев GaAs, спектр фотосигнала в общих чертах аналогичен общеизвестной кривой для этого материала [5] — интенсивный пик краевой фотопроводимости GaAs около 820 нм (1.51 эВ) и слабый примесный пик 837 нм (1.48 эВ) — кривая 1. Для определения вклада в фоточувствительность диода GaP мы освещали боковую грань образца, т.е. со стороны  $p-n$  перехода фосфида галлия. При этом наблюдается характерный длинноволновый спад краевой фотопроводимости GaP и слабая ступенька около 820 нм (1.51 эВ), соответствующая фотоответу слоя GaAs (кривая 2). Для анализа работы фотоструктуры необходимо отметить, что к арсениду галлия не подведены электрические контакты, и сигнал, отвечающий фотоответу, снимается с  $p-n$  перехода, сформированного на GaP. В этом случае носители, рожденные светом на расстояниях, непревышающих диффузионную длину носителей в слое GaAs, достигают области  $p-n$  перехода, где они эффективно разделяются и дают вклад в ЭДС. В связи с тем, что помимо процессов в  $p-n$  переходе GaP необходимо учитывать влияние гетеропереходов между слоями, образующими  $p-n$

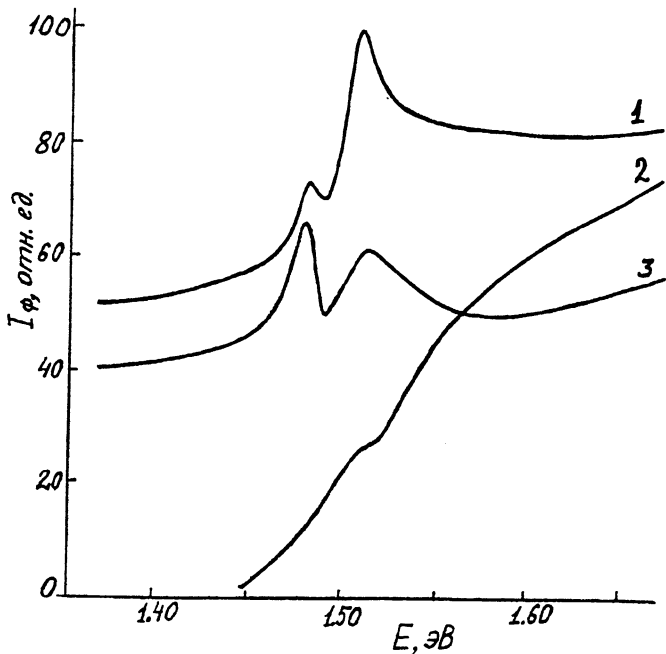


Рис. 2. Спектральные кривые фотодиодных структур при различных условиях регистрации: 1 — освещается GaAs-слой; 2 — освещается  $p-n$  переход GaP (боковая грань); 3 — освещается GaAs-слой при прямом смещении  $U = 14$  В. Везде  $T = 78$  К.

переход, и слоем GaAs, шунтирующим переход, построение точной зонной диаграммы исследованных образцов вызывает затруднения. Механизмы переноса энергии и заряда, которые имеют место в данном случае, нетривиальны и требуют дальнейшего изучения. Тем не менее, как видно из эксперимента, спектральная кривая фотоответа в основном определяется поглощением света в слоях GaAs (кривая 1).

Измерения, проведенные при приложении обратного смещения разной величины к  $p-n$  переходу GaP, показали, что обратное смещение вплоть до пробойного практически не влияет на спектральную кривую фотоответа. Это указывает на то, что при использовавшихся интенсивностях засветки разделение зарядов ограничено инжекцией носителей из области GaAs. Прямое смещение уже при 5В вызывает заметное уменьшение пика фотоответа в области края собственного поглощения GaAs (кривая 3) вследствие уменьшения барьера в  $p-n$  переходе. Таким образом, показана возможность создания фоточувствительных структур с регулируемым усилением на основе сочетания усилительной и фотопоглощающей составляющих, выпол-

ненных из различных материалов. Интересно отметить, что подобные результаты воздействия прямого смещения на МПМ-фотодиодную структуру InGaAs-GaAs описаны в работе [6], хотя и при иной, чем у нас, постановке задачи. Общим фактом оказывается дополнительная (помимо структурных) возможность использования фотоприемника за красной границей фотосигнала базового материала.

Существенным достоинством данных структур является то, что формирование фотоактивных и усилительных слоев можно проводить независимо. Тем самым, использование композиции из различных материалов при создании фотоприемников позволит удовлетворить противоречивым требованиям, накладываемым электрической и оптической составляющими прибора и существенно расширить класс фотоактивных материалов. Необходимо отметить, что выбор пары (GaAs и GaP) обусловлен тем обстоятельством, что эти материалы, вследствие большого рассогласования постоянных решеток, являются моделью неблагоприятной ситуации, возникающей при создании фотоприемников с гетеро-границами. Поскольку и в этих неблагоприятных условиях наблюдается эффект очувствления матрицы  $p-n$  переходов в ИК область, то следует ожидать, что оптимизируя и варьируя гетеро-пары рабочих материалов, а также оптимизируя пространственные и структурные параметры слоев, можно добиться высокой эффективности и существенно расширить спектральный диапазон фотоприемников.

В заключение авторы считают приятным долгом выразить признательность Ю.В.Жилеву за поддержку работы.

### Список литературы

- [1] Афрайлов М.А., Баранов А.Н., Дмитриев А.П., Михайлова М.П., Сморгачева Ю.П., Тимченко И.Н., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П., Ясевич И.Н. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 8. С. 1397-1406.
- [2] Воронина Т.И., Лагунова Т.С., Михайлова М.П., Сиповская М.А., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // ФТП. 1991. Т. 25. В. 2. С. 276-282.
- [3] Klingenstein M., Kuhl J., Rosenzweig J., Mogilestue C, Azmann A. // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58. N 22. P. 2503-2505.
- [4] Wada O., Nobuhara H., Hamaguchi H., Mikawa T., Takeuchi A., Fujii T. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 1. P. 16-17.
- [5] Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Под ред. Р.Дж.Киеса. М.: Радио и связь, 1985. 325 с.
- [6] Nakajima K., Sugimoto K., Hirohata T., Mizushima Y. // Appl. Phys. Lett. V. 61. N 23. P. 2575-2576.