

- [1] Грехов И.В., Сережкин Ю.Н. Лавинный пробой  $p-n$ -перехода в полупроводниках. М.: Энергия, 1980. С. 145.
- [2] Кравченко А.Б., Плотников А.Ф., Попов Ю.М., Шубин В.Э. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 4. С. 785-792.
- [3] Железных И.М., Плотников А.Ф., Садыгов З.Я., Шубин В.Э. // Краткие сообщения по физике (ФИАН СССР). 1984. № 5. С. 19-22.
- [4] Гасанов А.Г., Головин В.М., Садыгов З.Я., Юсипов Н.Ю. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 8. С. 706-709.
- [5] Гасанов А.Г., Головин В.М., Садыгов З.Я., Юсипов Н.Ю. // Микроэлектроника. 1988. Т. 18. В. 1. С. 88-90.

Институт ядерных исследований  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
10 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 1

12 января 1990 г.

06.2

© 1990

## ВНУТРЕННЕЕ ФОТОУСИЛЕНИЕ В ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУРАХ С БАРЬЕРОМ БАРДИНА НА $GaAs$

Н.М. Ушаков, А.Н. Солодкий, В.Э. Выдущ,  
В.И. Петросян

Для детектирования оптических сигналов пикосекундной длительности одними из перспективных являются фотодетекторы (ФД) с планарной металлической структурой на поверхности эпитаксиальной слаболегированной полупроводниковой пленки, выращенной на полупроводниковой подложке [1-3]. Использование контакта металла с малой электроотрицательностью с ковалентным полупроводником (таким, как  $GaAs$ ) позволяет формировать барьеры, высота которых практически не зависит от работы выхода металла, а определяется в основном поверхностными состояниями. Барьеры такого типа получили названия барьеров Бардина [4]. Планарные фотоприемные структуры с барьером Бардина (ПФСББ) обладают большим быстродействием и стабильностью рабочих параметров. Если динамика фотоносителей в таких структурах изучалась даже при субмикронном межэлектродном расстоянии [5], то вопросы, связанные с фоточувствительностью ПФСББ, еще недостаточно исследованы.

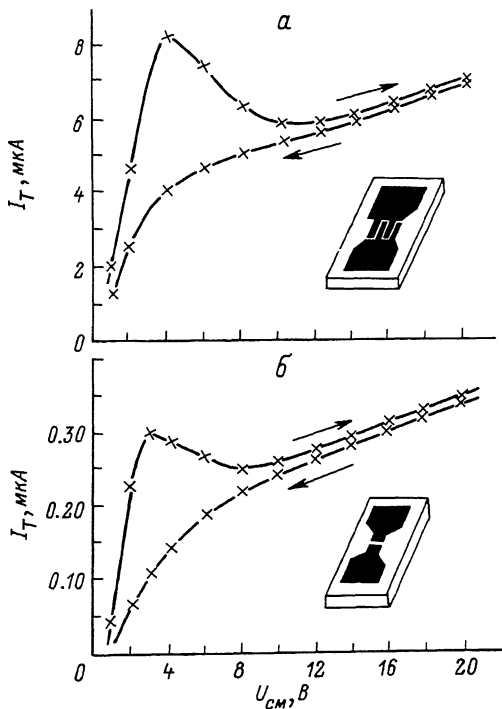


Рис. 1. Темновые ВАХ ПФСББ встречно-штыревого (а) и микрополоскового (б) типа.

Целью настоящей работы явилось экспериментальное исследование обнаруженного эффекта – внутреннего фотоусиления (ВФУ) в ПФСББ на  $n\text{-GaAs/s.i.}$

Известно, что ВФУ имеет место в ФД только в условиях лавинного пробоя за счет ударной ионизации (см., например, [6, 7]). ФД на поверхностно-барьерных структурах могут работать как лавинные ФД при больших обратных смещениях, как правило,  $U_{CM} > > 20$  В. В настоящей работе экспериментально обнаружено ВФУ в ПФСББ, начиная с напряжений смещения в единицы вольт.

Экспериментальные образцы ПФСББ представляли собой металлизированные эпитаксиальные пленки  $n\text{-GaAs}$  с концентрацией носителей заряда  $N = (5-9) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  и толщиной 10–14 мкм, выращенные на полупроводниковой подложке. Барьеры Бардина формировались в условиях сверхвысокого вакуума на установке ЭС-2301. В качестве металла использовался  $Al$  толщиной 0.2–0.5 мкм. Разработанная технология позволяла формировать барьеры заданной

величины в пределах 0,5–0,8 эВ. Топологический рисунок создавался методом электронной литографии на установке  $ZRM-12$ . Исследовались два вида топологического рисунка металлических контактов – встречно–штыревая (ВШС) и микрополосковая (МПС) структуры (рис. 1). Апертура фоточувствительной площади в обоих случаях составляла 100 мкм. В ВШС ширина электродов 4 мкм, расстояние между ними – 6 мкм. В МПС расстояние между электродами 100 мкм.

Темновые вольт–амперные характеристики (ВАХ) снимались на характернографе типа  $TR-4805$ . Фотоэлектрические характеристики исследовались на спектральном комплексе КСВУ–2 с помощью разработанной дополнительной приставки для снятия ВАХ с контролем мощности падающего светового потока.

На рис. 1 представлены темновые ВАХ ВШС и МПС. Образцы имели несимметричные по высоте барьера контакты. Падение напряжения на образце определялось в основном запирающим контактом (отрицательным по отношению к образцу). Поэтому в ПФСББ ВАХ представлены обратными ветвями. На рис. 1, а кривая 1 и кривая 2 характеризуют контакты ВШС с высотой барьера 0,54 и 0,7 эВ соответственно. ВАХ контакта МПС с высотой барьера 0,62 эВ представлена на рис. 1, б. В связи с тем, что контакты Бардина – неинжектирующие, они создают внутри образца неоднородное распределение электрического поля. Размер неоднородности зависит как от концентрации носителей заряда в образце, так и высоты барьера. При относительно малых высотах барьера –  $\Phi_B = 0,54$  эВ (кривая 1, рис. 1, а),  $\Phi_B = 0,61$  эВ (рис. 1, б) и напряжении смещения  $U_{см} > U_f$ , где  $U_f$  – напряжение смещения, при котором дифференциальная проводимость ВАХ равна нулю, возникает электрическая неустойчивость, о чем свидетельствует наблюдаемая область с отрицательной дифференциальной проводимостью. Наличие гистерезиса на ВАХ (рис. 1) свидетельствует о переходе ПФСББ из неустойчивого состояния в устойчивое за один цикл развертки. В ходе эксперимента было установлено, что электрическая неустойчивость в структурах с контактами Бардина имеет место при высоте барьера, не превышающей 0,62–0,64 эВ. При высоте барьера больше указанной величины, когда параметр  $NL < 10^{10}$  см<sup>-2</sup>, где  $N$  – концентрация носителей заряда, а  $L$  – межэлектродное расстояние в ПФСББ, благодаря стабилизирующему действию диффузии дифференциальное сопротивление образца всегда положительно (кривая 2, рис. 1, а). При большей неоднородности электрического поля в полупроводнике, создаваемой контактами Бардина, концентрация носителей заряда  $N$  определяется свойствами обратносмещенного контакта. Наблюдаемая электрическая неустойчивость в темновом режиме пропадает при освещении образцов. В этих условиях ВАХ имеет участок насыщения при  $U_{см} > U_f$ . Поведение ПФСББ при этом аналогично поведению диодов Ганна на постоянном токе при наличии избыточных электронов (объемного заряда) в образце, когда в случае инжектирующего контакта  $NL < NL_1$ , где  $L_1$  – расстояние, при котором выполняется условие Кремера [8]. На рис. 2, а

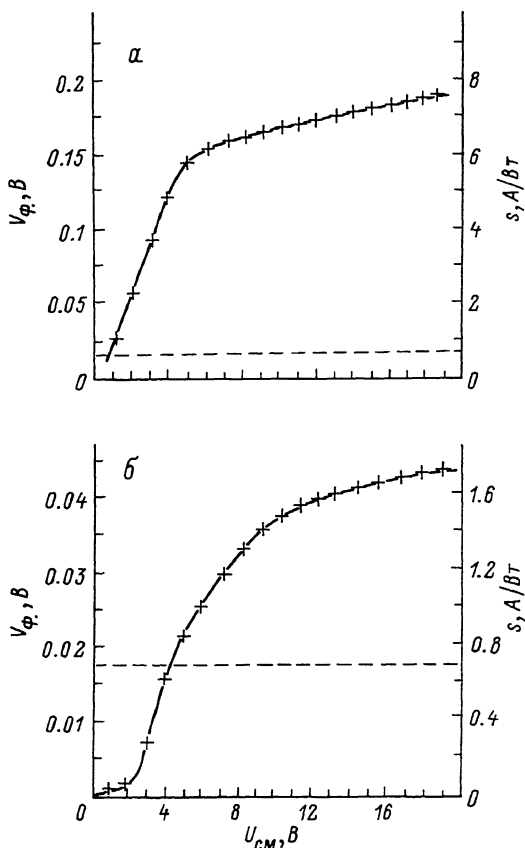


Рис. 2. Зависимость напряжения и чувствительности фотосигнала от смещения на ПФСББ ВШ (а) и ПФСББ МП (б) при сопротивлении нагрузки  $R_H = 50$  кОм и падающей мощности света  $0.5$  мкВт на длине волны  $878$  нм. Пунктирной линией показан уровень чувствительности идеального ФД в отсутствие ВФУ на длине оптической волны  $878$  нм.

изображена зависимость напряжения фотосигнала от смещения ВШС. Пунктирной линией отмечен уровень чувствительности ФД в отсутствие внутреннего усиления на длине оптической волны  $878$  нм. Как видно из приведенной зависимости, ВФУ на образцах с ПФСББ проявляется уже с единиц вольт напряжения смещения. Участок насыщения начинается при  $U_{CM} \geq 4$  В, что соответствует смещению для темновых ВАХ (рис. 1), при котором  $U_{CM} = U_\xi$ . Максимальная чувствительность на участке насыщения достигает  $7.5$  А/Вт.

На рис. 2, б представлена зависимость напряжения фотосигнала от смещения в МПС. В этом случае ВФУ наблюдается только при  $U_{CM} > 4$  В. Чувствительность ПФСББ на длине оптической волны  $878$  нм составляет при  $U_{CM} = 10$  В около  $1.2$  А/Вт. Меньшая

чувствительность по сравнению с ВШС при равных апертурах объясняется тем, что полезной фоточувствительной областью является только часть межэлектродной площади.

Как показали исследования фоточувствительной площади с помощью светового зонда, полезная фоточувствительная площадь ограничена расстоянием 30 мкм от положительного электрода, что для электронов в GaAs соответствует диффузионной длине. В образцах с МПС обнаружена особенность – фоточувствительность имеет тенденцию к резкому росту только при  $U_{см} = U_{г} = (2.5-3)$  В (рис. 1, б). Такое поведение фоточувствительности объясняется тем, что в отличие от ВШС, где параметр  $NL = 3 \cdot 10^{11}$  см<sup>-2</sup> меньше  $NL_1 = 5 \cdot 10^{11}$  см<sup>-2</sup>, величина параметра  $NL$  в МПС больше  $NL_1$ , что в связи с выполнением критерия Кремера указывает на возможность возникновения в таких образцах доменов Ганна [8]. В случае МПС из-за неоднородности электрического поля эффективная длина  $L_{эфф}$  участка основного падения напряжения меньше межэлектродного расстояния и составляет 20-30 мкм. При этом выполняются условия:  $NL_{эфф} = (1.8-2.7) \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup> больше  $NL_1 = 5 \cdot 10^{11}$  см<sup>-2</sup> и  $U_{см} \geq U_{г}$ .

Механизм ВФУ в исследованных структурах может быть следующий. Контакты Бардина создают неоднородное распределение электрического поля в полупроводнике. При освещении и подаче смещения из-за разделения носителей вблизи анода в *n-GaAs* возникает область, обедненная электронами, поле которой вызывает дополнительную эмиссию электронов с катода. Кроме того, указанная неоднородность поля может значительно облегчить образование статического домена, что и наблюдается в МПС.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Roth W., Sehumacher H., Kluge I., Glun H., Beneking H. // IEEE Trans. on ED. 1985. V. 32. N 6. P. 1034-1036.
- [2] Аверин С.В., Дмитриев М.Д., Царев А.Н., Эленкриг Б.Б. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 24. С. 2215-2218.
- [3] Downey P.M., Martin R.I., Nahory R.E., Lorimor O.G. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 4. P. 396-398.
- [4] Николлиан Е., Синха А. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакция. М.: Мир, 1982. 574 с.
- [5] Koscielniak W.C., Pelonard I.L., Littlejohn M.A. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54(6). P. 567-569.
- [6] Forrest S. // IEEE SPECTRUM. 1986. V. 23. N 5. P. 76-84.
- [7] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Ч. 2. С. 455.

[8] Левинштейн М.Е., Пожелая Ю.К., Шур М.С.  
Эффект Ганна. М.: Сов. радио, 1975. 288 с.

Институт радиотехники  
и электроники АН СССР  
Саратовский филиал

Поступило в Редакцию  
10 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 1 12 января 1990 г.

06.2

© 1990

## ИНДУКТИВНЫЙ ИМПЕДАНС В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-ХАЛЬКОГЕНИДНЫЙ СТЕКЛООБРАЗНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ПОЛУПРОВОДНИК

И.Ю. Г и б а д а т о в, А.С. Г л е б о в

Гетероструктуры (ГС), созданные на основе контакта кристаллического полупроводника (КП) и халькогенидного стеклообразного полупроводника (ХСП), обладают рядом уникальных свойств, являющихся по своей природе комбинацией свойств кристаллических гетеропереходов [1] и стеклообразного компонента (например, порогового переключения [2]). Исследования, проведенные в данной работе, позволили выявить существование индуктивного характера импеданса ГС, что является перспективным для использования в различного рода устройствах.

Исследования проводились известным методом квазистатических вольт-фарадных характеристик (КС ВФХ), применяемым обычно к анализу МДП структур [3]. Применительно к структурам металл (Me)-ХСП-КП анализ результатов эксперимента имел свои особенности, вызванные прежде всего существованием больших токов сквозной проводимости. В этом случае регистрируемая величина тока представляла собой сумму  $I = I_{\alpha} \pm I_p$ , где  $I_{\alpha}$  - ток сквозной проводимости структуры,  $I_p$  - ток, пропорциональный емкости образца. При регистрации сигнала на самописец вырисовывается петля гистерезиса, величина которой по вертикали равна  $2I_p$ , а направление ее обхода зависит от фазы напряжения смещения и импеданса структуры, что и определяло знак в выражении для полного тока. Используя соотношение  $I_p = C \frac{dU}{dt}$ , где  $\frac{dU}{dt}$  - скорость изменения напряжения, нетрудно установить значение емкости структуры  $C$  в области инфранизких частот.

Экспериментальные образцы представляли собой пластины монокристаллического кремния  $p$ - и  $n$ -типов проводимости (КДБ-10 и КЭФ-4, 7) с предварительно созданным с одной из сторон омическим контактом, на которые методом термического вакуумного