

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ПРИЕМНИКИ С КОНТАКТАМИ НА БАРЬЕРАХ ШОТТКИ

В. А. Вдовенков, С. П. Прокофьева, Т. Н. Усачева

Для создания систем оптической передачи информации требуются быстродействующие фотоприемники с временами отклика в пикосекундном диапазоне и высокой эффективностью преобразования оптической энергии лазерного излучения в электрическую. Для этих целей широко используются лавинные фотодиоды, $p-i-n$ -диоды, фототранзисторы. В последние годы стали применяться также быстродействующие фоторезисторы [1, 2]. Они уступают по чувствительности остальным детекторам излучения, однако обладают сравнительно высоким быстродействием, отличаются простотой изготовления фотоприемной структуры и невысокой стоимостью. В связи с этим существует необходимость в изучении и обосновании механизмов формирования полезного сигнала в приемниках этого типа.

Параметры фоторезисторов зависят не только от свойств исходного полупроводника, в значительной степени они обусловлены контактными явлениями в структуре металл—полупроводник—металл. Однако в работах по исследованию быстродействующих фоторезисторов авторы, как правило, не затрагивают вопроса о свойствах контактов, конструируя их омическими [3].

Наличие омических контактов, по нашему мнению, значительно ограничивает быстродействие фотоприемных элементов. Действительно, в случае омических контактов основной проблемой повышения быстродействия фоторезистора является сокращение длительности заднего фронта импульса фототока: релаксация фототока после выключения светового импульса происходит по экспоненциальному закону с постоянной времени τ , равной времени жизни неосновных носителей, причем τ составляет, как правило, единицы наносекунд и более (составляющая времени, связанная с дрейфом носителей в фотопроводящем канале может быть уменьшена за счет повышения их скорости и уменьшения межэлектродного расстояния). Очевидный и традиционный путь сокращения длительности импульса состоит в уменьшении τ за счет введения в активную область полупроводника структурных дефектов, являющихся эффективными центрами рекомбинации. Однако этот путь не является оптимальным, так как приводит к снижению дрейфовой подвижности носителей. Кроме того, значительное уменьшение τ нецелесообразно из-за резкого снижения эффективности работы фотоприемника.

Решить проблему повышения быстродействия в фоторезисторах можно за счет использования контактов с потенциальными барьерами, например с барьерами Шоттки, которые препятствовали бы инжекции носителей зарядов в полупроводник. В этом случае времена нарастания и спада фототока определяются только временем прохождения носителями межэлектродного расстояния, не зависящим от τ . Это позволяет использовать для изготовления фотоприемных элементов полупроводники с произвольным значением τ , в том числе нелегированные, обладающие большим удельным сопротивлением и высокой подвижностью носителей, что удовлетворяет требованию обеспечения как низких темновых токов, так и высокой фоточувствительности приемника [4].

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию быстродействия фотоприемных элементов с конструкцией фоторезистора и потенциальными барьерами в области контактов. Степень неомичности контакта металл—полупроводник определялась по виду вольт-амперной характеристики в исследованном диапазоне напряжений смещения $U_{см} = 0-90$ В.

Для изготовления фотоприемных элементов использованы нелегированные эпитаксиальные слои $GaInAs(Gd)$ с концентрацией остаточных примесей $10^{14}-10^{15}$ $см^{-3}$ и высокой подвижностью носителей заряда $\sim 10^4$ $см^2/V \cdot с$ (при 300 К), а также объемные компенсированные монокристаллы $GaAs(Cr)$ и $InP(Fe)$ с удельным сопротивлением $\geq 10^8$ Ом·см (при 300 К). Контакты к полупроводнику формировались путем вакуумного напыления золота на химически полированную поверхность с последующей термической обработкой структур в течение 15 мин при 400 °С для улучшения адгезии. Расстояние между электродами d составляло приблизительно 30 мкм, ширина электродов $l \approx 600-800$ мкм. Такая технология позволяла получать симметричные структуры металл—полупроводник—металл с потенциальными барьерами в области контактов.

На рис. 1 представлены типичные вольт-амперные характеристики фотоприемных элементов. Большое сопротивление ($\approx 10^3 - 10^6$ Ом) и нелинейность вольт-амперных характеристик у некоторых образцов (кривые 2, 3) свидетельствуют о наличии потенциальных барьеров в области контактов. Исследованы также образцы с контактами, близкими к омическим, для которых характерны линейные вольт-амперные характеристики (кривая 1). При использованной нами технологии свойства контактов могут быть обусловлены не только контактной разностью потенциалов металла и полупроводника. Свой вклад в вид вольт-амперной характеристики вносят также особенности тонкой оксидной пленки, неизбежно присутствующей на поверхности полупроводника, а также металлургические процессы, обусловленные термообработкой.

Для определения высоты потенциального барьера в образцах с нелинейными вольт-амперными характеристиками был использован метод фотоэдс и активационный метод, со-

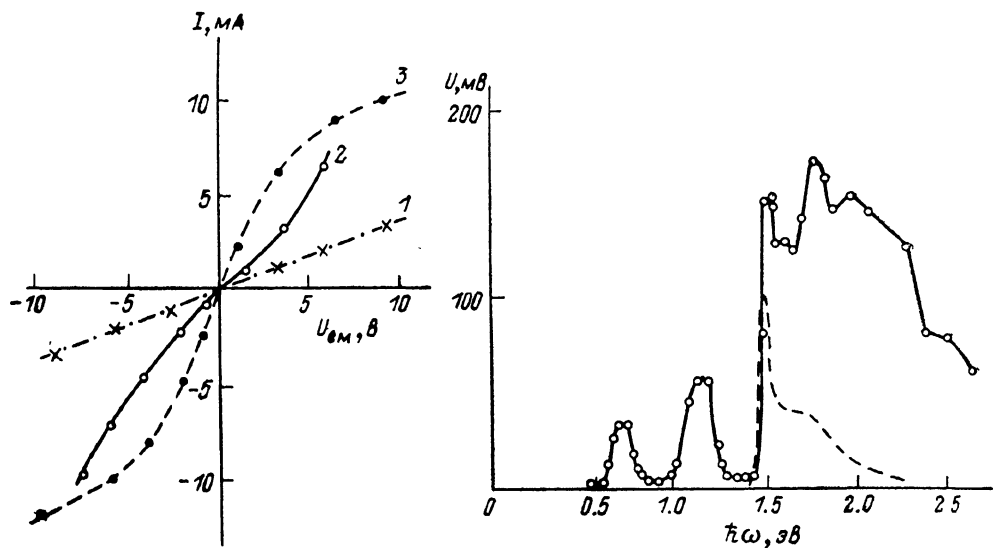


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики фотоприемных элементов.

1, 2 — GaInAs № 43; 3 — InP № 202.

Рис. 2. Спектр фотоэдс (сплошная линия) и бесконтактной фотопроводимости (штриховая линия) GaAs(Cr).

стоящий в определении энергии активации по температурной зависимости сопротивления обратно смещенного контакта.

Типичный спектр фотоэдс GaAs(Cr) приведен на рис. 2 (сплошная линия). Здесь же для сравнения показан спектр бесконтактной фотопроводимости (штриховая линия). Основная полоса фотоэдс и полоса фотопроводимости, длинноволновая граница которых совпадает с шириной запрещенной зоны арсенида галлия, обусловлены межзонными переходами свободных носителей. Энергетическое положение других полос соответствует надбарьерным переходам электронов с уровня Ферми металла в полупроводник (~ 0.95 эВ) [6] и переходам с локального уровня в зону проводимости полупроводника (~ 0.65 и ~ 0.33 эВ).

Характерные энергии активации для фотоприемных элементов на основе других полупроводников видны на рис. 3, где представлены температурные зависимости сопротивления R контактов металл—полупроводник.

В образцах на основе GaAs экспериментально полученные значения энергии активации ~ 0.95 , ~ 0.65 и ~ 0.33 эВ (рис. 3, кривая 3) соответствуют положению полос в спектрах фотоэдс (рис. 2, кривая 1). В InP энергия активации ~ 0.82 эВ близка к высоте барьера Шоттки, а ~ 0.63 эВ соответствует переходам с локальных уровней. В образцах на основе GaInAs определены энергии активации ~ 0.42 (барьер Шоттки) и ~ 0.24 эВ.

Необходимо отметить, что энергии активации, совпадающие с высотой барьера Шоттки, отчетливо видны только у фотоприемных элементов с нелинейными вольт-амперными характеристиками (например, образцы 2 и 3 на рис. 1) и не проявляются у фотоприемных элементов с линейными вольт-амперными характеристиками (образец 1 на рис. 1).

На рис. 4 приведены типичные фотоотклики приемников с линейной (1) и нелинейной (2) вольт-амперной характеристикой. Здесь же показана структура фотоприемного элемента. На рис. 1 под теми же номерами изображены вольт-амперные характеристики этих образцов.

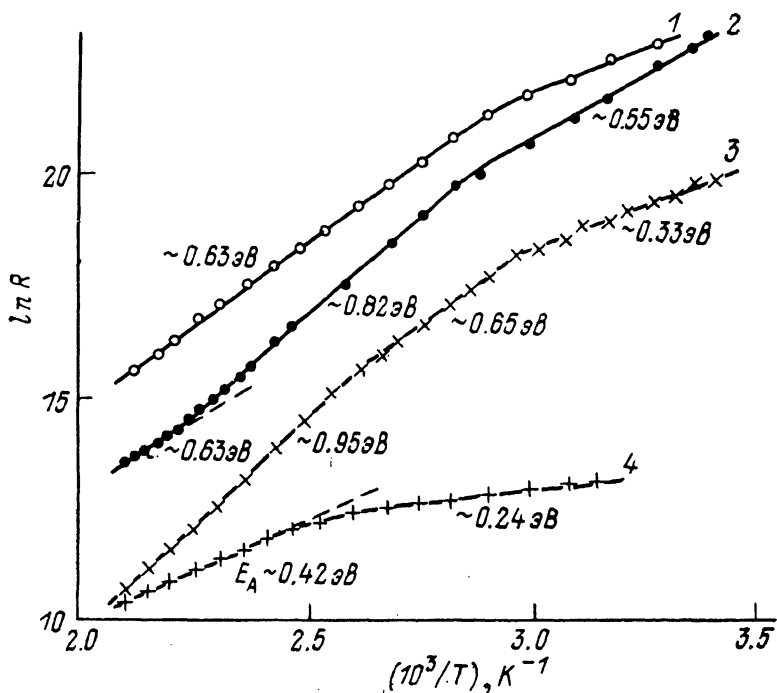


Рис. 3. Температурная зависимость сопротивления R выпрямляющих контактов Au—InP (1), Au—GaAs (3), Au—GaInAs (4) и невыпрямляющих контактов Au—InP (2).

Цифрами обозначены энергии активации в эВ.

Наиболее короткие длительности импульсных характеристик (~ 150 пс по полувысоте и ~ 40 — 70 пс по фронту нарастания на уровне 0.1—0.9) зарегистрированы у фотоприемников (рис. 4, образец 2), имеющих потенциальные барьеры Шоттки ~ 0.95 (GaAs), ~ 0.82 (InP), ~ 0.42 эВ (GaInAs) и нелинейные вольт-амперные характеристики. При этом форма импульса фотоответа близка к симметричной. В образцах с линейной вольт-амперной характеристикой наблюдался релаксационный спад фототока с постоянной времени порядка нескольких наносекунд, при этом длительность импульса фотоответа по полувысоте составляла 5—15 нс, а передний фронт импульсной характеристики (оп-

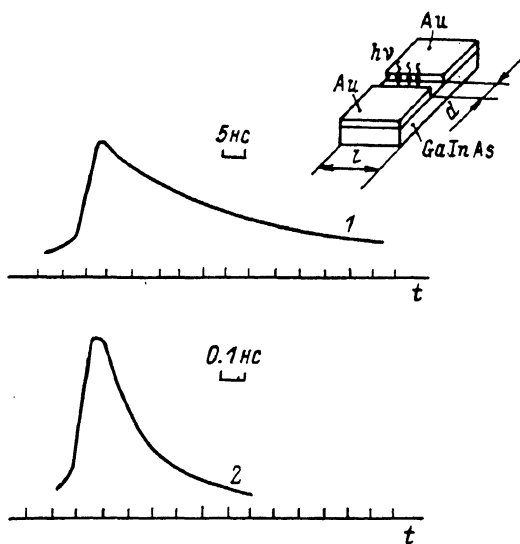


Рис. 4. Импульсные характеристики фототока фотоприемников, изготовленных из GaInAs № 43 с линейной (1) и нелинейной (2) вольт-амперной характеристикой.

На вставке конструкция фотоприемного элемента.

ределяемый временем пролета носителями фотопроводящего канала) по-прежнему не превышал 70—100 пс.

Быстродействие приемников со встречно включенными барьерами Шоттки практически не зависело от величины прикладываемого напряжения, а их фоточувствительность была на уровне 0.4 А/Вт.

Полученные экспериментальные результаты позволяют осуществлять предварительный отбор быстродействующих фотоприемников по виду вольт-амперной характеристики.

В симметричных структурах металл—полупроводник—металлы с потенциальными барьерами у контактов наиболее быстрая дрейфовая составляющая фототока связана с движением носителей в области пространственного заряда, размер которой зависит от уровня легирования полупроводника и приложенного напряжения. В остальной части канала вклад в фототок вносит более медленная диффузионная составляющая. Условия, близкие к оптимальным, реализуются в том случае, когда область пространственного заряда занимает все межэлектродное пространство. В исследованных фотоприемных элементах с шириной фотопроводящего канала ~ 30 мкм условия прохождения носителей не являются идеальными (нетрудно убедиться, что при уровне легирования $\sim 10^{15}$ см $^{-3}$ и напряжении $U_{см} = 90$ В размер обедненной области составляет ~ 12 мкм). Можно надеяться поэтому, что простое уменьшение межэлектродного расстояния до 1—10 мкм повысит быстродействие приемников этого типа.

Таким образом, проведенные исследования фотоэлектрических свойств и динамических характеристик полупроводниковых фотоприемников с конструкцией фоторезистора показали, что наличие потенциальных барьеров в области контактов позволяет существенно повысить их быстродействие.

Список литературы

- [1] *Королюков В. И.* // Фотоприемники и фотопреобразователи / Под ред. Ж. И. Алферова и Ю. В. Шмарцева. Л.: Наука, 1986. С. 6—36.
- [2] *Forrest S. P.* // IEEE Spectrum. 1986. Vol. 23. N 5. P. 76—84.
- [3] *Свечников Г. С.* // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. 1986. № 10. С. 11—26.
- [4] *Лукьянов В. Н., Печиталенико В. Ф., Прокофьева С. П. и др.* // Тез. докл. XII Всесоюз. научно-технической конф. «Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстротекущих процессов». М., 1985. С. 188.
- [5] *Зи С.* Физика полупроводников. М.: Мир, 1984. Т. 1. С. 455.

Всесоюзный научно-исследовательский институт оптико-физических измерений
Москва

Поступило в Редакцию
6 февраля 1989 г.

06; 07

Журнал технической физики, т. 60, в. 2, 1990

© 1990 г.

ФЛУКТУАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕЛЬНОВОЛОКОННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА САНЬЯКА НА ВОЛНУ 0,85 МКМ

*И. А. Андропова, Д. Д. Гусовский, В. М. Геликонов,
В. И. Леонов, Ю. А. Мамаев, А. А. Туркин, А. С. Язнов*

В последние годы достаточно много внимания уделяется исследованию волоконно-оптических кольцевых интерферометров в качестве датчиков угловой скорости вращения [1]. Предложены различные оптико-физические схемы таких интерферометров и проведено детальное исследование целого ряда физических факторов, влияющих на чувствительность и дрейф нуля оптического гироскопа. При этом показано, что наиболее перспективными с точки зрения получения высокой чувствительности являются цельноволокonné кольцевые интерферометры [2—3], обладающие достаточно стабильными во времени выходными характеристиками. Флуктуационные явления, определяющие предельную чувствительность, на наш взгляд, исследованы в литературе недостаточно полно.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования цельноволокonné интерферометра Саныяка на основе одномодового изотропного волокна, собранного по схеме, впервые предложенной в [2] и показанной на рис. 1. Целью работы было исследование результирующих флуктуационных характеристик интерферометра, а также выявление и изучение источников флуктуаций, которые можно было проводить на фоне медленного дрейфа, связанного с использованием изотропного волокна.