

[7] Sutcliffe E., Srinivasan R. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. P. 3315.

Научно-исследовательский центр
по технологическим лазерам АН СССР

Поступило в Редакцию
3 августа 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 1

12 января 1990 г.

06.2

© 1990

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПОДЛОЖКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАВИННЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ

А.Г. Г а с а н о в, В.М. Г о л о в и н, З.Я. С а д ы г о в,
Н.Ю. Ю с и п о в

Известно, что одним из недостатков, ограничивающих применение полупроводниковых лавинных фотодиодов для регистрации слабых потоков оптических квантов и ядерных частиц, является присутствие (или образование при эксплуатации) в них отдельных областей микроприбора (микроплазмы). Центрами микроплазмы обычно являются такие неоднородности в полупроводниковой подложке, как дислокация атомов основного вещества, локальные скопления примесей, форма и чистота границ разделов и другие искажения кристаллической решетки, приводящие к неуправляемому развитию лавинного процесса в приборе [1].

Значительное ослабление микроплазменных процессов достигается в многослойных структурах металл – буферный слой – полупроводник на основе систем кремний – двуокись кремния ($Si - SiO_2$) [2, 3] и кремний – карбид кремния ($Si - SiC$) [4, 5]. В этих структурах за счет возможности накопления размноженных носителей заряда на границе полупроводник – буферный слой обеспечивается локальная отрицательная обратная связь в областях микроплазмы, приводящая к стабилизации лавинного процесса по всей рабочей площади прибора.

В данном сообщении изучено влияние искусственно созданных неоднородностей на границах раздела $Si - SiO_2$ и $Si - SiC$ на величины коэффициента усиления фототока и напряжения пробоя, соответствующего началу лавинного процесса в структурах.

В рабочем режиме к электродам структур прикладывалось импульсное (в случае системы $Si - SiO_2$) или постоянное (в случае системы $Si - SiC$) напряжение V с полярностью, соответствующей обеднению границы раздела полупроводник – буферный слой. В качестве источника света использовался светодиод с длиной волны излучения $\lambda = 0.67$ мкм. Коэффициент усиления в структурах опре-

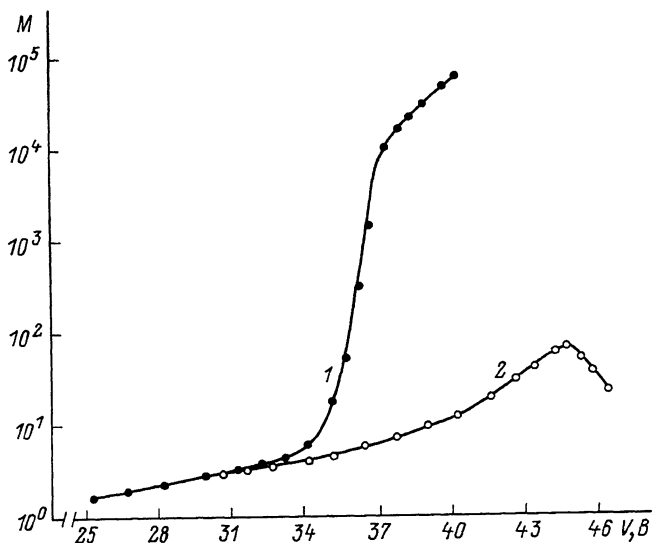
делялся как отношение амплитуды усиленного фототока при $V \geq 25$ В к амплитуде фототока при уменьшенном напряжении до $V=20$ В. За величину напряжения пробоя принимался такой потенциал, при котором наступал излом на вольт-амперной характеристике структуры при освещении.

Образцы фотоприемников изготавливались на базе кремниевой подложки p -типа проводимости с концентрацией примеси $\approx 1.5 \times 10^{16}$ см $^{-3}$. На поверхности кремниевой подложки через окна с диаметрами 2.5 мкм формировались неоднородности в виде отдельных областей противоположного типа проводимости с концентрацией примеси $\sim 10^{19}$ см $^{-3}$. Глубины и расстояния между неоднородностями варьировались от 0.2 до 3 мкм и от 3 до 50 мкм. Затем на поверхности полупроводниковых пластин формировались слои термического оксида SiO_2 толщиной 0.2 мкм или SiC толщиной 0.4 мкм ионно-плазменным распылением. В качестве полупрозрачного электрода использовался слой никеля площадью 1.1 мм 2 , нанесенный на буферные слои термическим испарением в вакууме. Для сравнения характеристик совместно с вышеуказанными структурами изготавливались также базовые структуры без областей n -типа проводимости.

Исследования структур $Si-SiO_2$ и $Si-SiC$ показали, что при данной концентрации примеси в области n -типа проводимости $\sim 10^{19}$ см $^{-3}$, величина напряжения пробоя монотонно падает с увеличением глубины p - n -переходов, причем наибольшее изменение (до 4 В) напряжения пробоя V_0 происходит в интервале глубины p - n -переходов $W=(0.3-1.5)$ мкм, а в интервале $W=(1.5-3)$ мкм величина V_0 падает всего на 0.5 В.

После формирования областей n -типа проводимости на поверхности подложек коэффициент усиления фототока в структурах значительно увеличился по сравнению с базовыми структурами. На рис. 1 представлена зависимость коэффициента усиления фототока от напряжения в указанных структурах. Зависимости снимались при постоянной мощности излучения $\approx 4.5-10^{-9}$ Вт. Длительность световых импульсов при этом составляла ~ 100 нс. Видно, что при потенциале на электродах $V=37$ В коэффициент усиления фототока в структуре с областями n -типа проводимости превышает в 10^3 раз коэффициент усиления фототока в базовой структуре (без областей n -типа проводимости). Аналогичный характер изменения коэффициента усиления наблюдался в структурах $Si-SiO_2-Ni$ после введения в них областей n -типа проводимости.

Уменьшение напряжения пробоя структур можно объяснить эффектом острия, осуществляемом в областях n -типа проводимости. Очевидно, что после диффузии примесей через окна диаметром ~ 2.5 мкм в приповерхностной области подложки образуются p - n -переходы с формой границы раздела ближе к полусфере. При глубине диффузии примесей, сравнимой с величиной максимально возможной толщины W_{max} обеднения в подложке (в нашем случае $W \approx 2$ мкм), эквипотенциальные поверхности вокруг p - n -переходов имеют значительную кривизну, в результате этого там лавинный процесс достигается при меньшем потенциале по сравнению с плоскопараллельной частью границы раздела полупроводник - буферный слой.



Зависимость коэффициента усиления импульсного фототока M от приложенного к структуре кремний-карбид кремния-никель постоянного напряжения V . 1 - структура с областями n -типа проводимости, 2 - базовая структура.

Значительное увеличение коэффициента усиления фототока в структурах с областями n -типа проводимости мы связываем с уменьшением по сравнению с базовыми структурами доли темнового тока дырок, пересекающих область размножения носителей заряда. Например, часть дырок, пересекающих границу раздела полупроводник - буферный слой в промежутке между областями n -типа проводимости, не имеет возможности размножиться, тогда как значительная часть электронов, созданных в этих промежутках светом с длиной волны $\lambda \geq 0.6$ мкм, притягивается к p - n -переходам и размножается.

Следует отметить, что в структурах с областью n -типа проводимости также улучшалась стабильность характеристик со временем. Например, срок службы структур $Si-SiC-Ni$ с областями n -типа проводимости на один порядок больше по сравнению с базовыми структурами. В структурах $Si-SiO_2-Ni$ с областями n -типа проводимости за десять часов работы не был замечен сдвиг плоских зон, а в соответствующих базовых образцах за это время сдвиг достигал десяти вольт.

Таким образом, наличие в полупроводниковой подложке неоднородностей в виде областей n -типа проводимости приводит к локализации лавинного процесса, в результате этого к значительному улучшению рабочих характеристик лавинных фотоприемников на основе структур полупроводник - буферный слой - металл.

- [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.