

©1995 г.

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ p -GaAs/ n -GaAs/ p -Si

Л.А.Иванютин, Ф.М.Кацапов, С.Ю.Рахлей, И.Н.Цыпленков

Институт электроники Академии наук Беларуси,
220841, Минск, Беларусь

(Получена 21 января 1994 г. Принята к печати 13 декабря 1994 г.)

Изложены результаты исследований фоточувствительности структуры p -GaAs/ n -GaAs/ p -Si, полученной выращиванием арсенида галлия методом газо-фазной эпитаксии из металлорганических соединений на кремнии с последующей диффузией цинка из бесконечного источника. Выявлено сильное влияние гетероперехода n -GaAs/ p -Si на спектральную характеристику диффузионного p - n -перехода в арсениде галлия, приводящее к образованию длинноволнового противоположного по знаку максимума с $\lambda = 0.9$ мкм. Обнаружен эффект прыжкового увеличения фототока диффузионного p - n -перехода при переключении свет \rightarrow тень \rightarrow свет.

Широкое применение в твердотельной электронике в настоящее время нашли такие полупроводниковые материалы, как кремний и арсенид галлия. Однако из-за существенных физических различий и технологических особенностей их получения они до сих пор не используются для создания в едином кристалле полупроводниковых приборов и интегральных схем, несмотря на то что их сочетание позволило бы получать приборы и интегральные схемы нового функционального назначения, расширив тем самым области их применения. Например, одной из областей применения таких структур могла бы быть солнечная энергетика, так как предельный теоретический КПД солнечных элементов как функция ширины запрещенной зоны имеет максимум при $E_g = 1.4 \div 1.5$ эВ [1], что хорошо согласуется с шириной запрещенной зоны арсенида галлия. Однако если теоретический КПД для солнечных элементов на арсениде галлия не превышает 28%, то в каскадных солнечных элементах на структурах GaAs/Si он может значительно превышать эту величину. Используя многопереходные и многокаскадные преобразователи солнечной энергии, теоретически можно получить КПД порядка 60% [2], если выращивать эпитаксиальные слои твердых растворов типа $A^{III}B^V$ на структуре GaAs/Si.

Немаловажным является и использование недорогих подложек кремния, имеющего высокую прочность и высокую теплопроводность,

для получения на них эпитаксиальных слоев арсенида галлия с высокой подвижностью электронов и эффективной излучательной рекомбинацией. Именно поэтому в последние годы исследователи всего мира уделяют большое внимание как получению эпитаксиальных структур арсенида галлия на кремнии^[3,4], так и разработке на их основе приборов различного назначения^[2,5].

В данной работе авторы приводят результаты исследований по получению оптоэлектронных структур $p\text{-GaAs}/n\text{-GaAs}/p\text{-Si}$ и определению их фотоэлектрических характеристик. Структуры GaAs/Si выращены методом газофазной эпитаксии из металлорганических соединений в системе $\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{-N}_2\text{-AsH}_3$. Эпитаксиальные слои арсенида галлия имели толщину 2 мкм, плотность дислокаций 10^7 см^{-2} и концентрацию носителей заряда $n \simeq 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Для выращивания эпитаксиальных слоев арсенида галлия использовались подложки из кремния марки КДБ-40, ориентированные в плоскости (100) с точностью до 2° . Непосредственно перед эпитаксиальным осаждением арсенида галлия с подложки кремния удалялся слой собственного окисла и затем выращивался путем осаждения из газовой фазы слой арсенида галлия n -типа проводимости (рис. 1, *a*). Области арсенида галлия p -типа проводимости были получены методом диффузии цинка (рис. 1, *b*) на глубину до 0.8 мкм в открытой трубе через окна в SiO_2 , полученном путем разложения моносилана при температуре 330°C . При создании контактов к $n\text{-GaAs}$ использовали золото и германий, а к $p\text{-GaAs}$ — никель, алюминий и ванадий. Контакты формировались методом взрывной фотолитографии. Диффузионные области имели круглую форму диаметром от 14.5 до 52 мкм (рис. 1, *a*).

Фоточувствительные свойства структуры $p\text{-GaAs}/n\text{-GaAs}/p\text{-Si}$ определялись по стандартной методике с использованием монохроматора SPM-2 с разрешением $20 \div 40 \text{ нм}$. В качестве источника типа «А» применялась спектральная лампа СИ 8-200.

Проведенные исследования показали, что спектральная характеристика диффузионного $p\text{-}n$ -перехода, сформированного в эпитаксиальном слое арсенида галлия, имеет два максимума — на длинах волн 0.8 и 0.9 мкм (рис. 2, *a*). При этом интенсивность длинноволнового пика в $40 \div 50$ раз выше, чем коротковолнового, а фототок имеет обратное направление. Из-за большой разницы значений фототока они масштабированы на разных осях и в относительных единицах (рис. 2, *a*). Если пик с длиной волны 0.8 мкм принадлежит диффузионному $p\text{-}n$ -переходу в арсениде галлия, то возникновение второго пика с длиной волны 0.9 мкм можно объяснить влиянием неподключенного гетероперехода, чему, по-видимому, способствовало малое расстояние между диффузионным $p\text{-}n$ -переходом и $n\text{-}p$ -гетеропереходом. Носители заряда, генерируемые светом в кремниевой подложке, разделяются гетеропереходом и, попадая в эпитаксиальную пленку арсенида галлия, вызывают смещение положения электронейтрального состояния $p\text{-}n$ -перехода, что приводит к инжекции этих носителей в диффузионную область и к созданию тока в цепи нагрузки. В нашем случае $p\text{-}n$ -переход между кремнием и арсенидом галлия одновременно является и гетеропереходом, что, по-видимому, и определяет возникновение фототока обратного направления. Значительное различие максимальных значений фототока обусловлено, с одной стороны, низкой

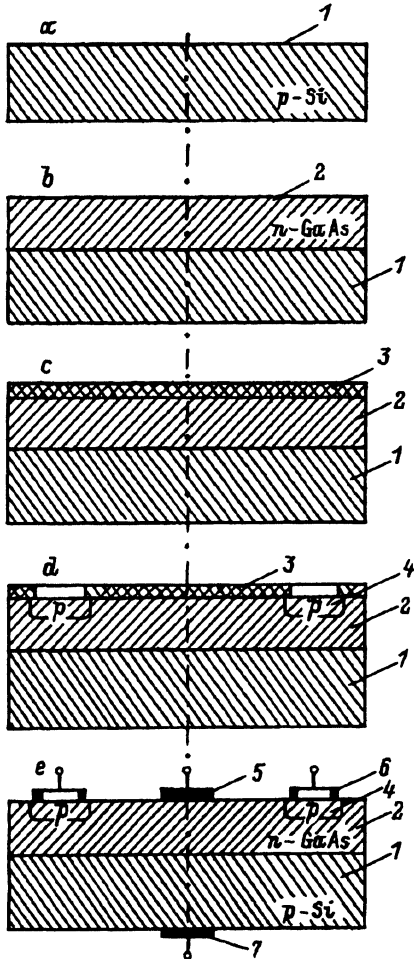


Рис. 1. (а-е) — технологическая последовательность изготовления структуры $p\text{-GaAs}/n\text{-GaAs}/p\text{-Si}$. 1 — кремниевая подложка, 2 — эпитаксиальный слой арсенида галлия, 3 — слой диэлектрика, 4 — диффузионная p -область в арсениде галлия, 5 — омический контакт к $n\text{-GaAs}$, 6 — омический контакт к $p\text{-GaAs}$, 7 — омический контакт к $p\text{-Si}$.

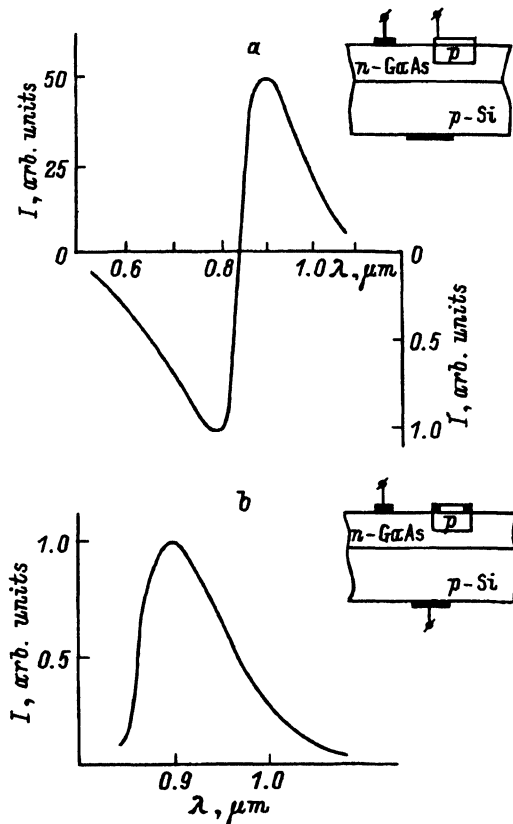


Рис. 2. Спектральная характеристика фоточувствительности I диффузионного $p\text{-n}$ -перехода структуры $p\text{-GaAs}/n\text{-GaAs}/p\text{-Si}$ (а) и гетероперехода GaAs/Si (б).

чувствительностью диффузионного $p\text{-n}$ -перехода из-за высокой скорости рекомбинации носителей заряда на дефектах и большой концентрации примеси, с другой стороны, освещаемая площадка планарной поверхности кристалла значительно больше, чем площадь диффузионного $p\text{-n}$ -перехода, ограниченная топологией структуры. Следует отметить, что ощутимый вклад в фототок $p\text{-n}$ -перехода, расположенного в арсениде галлия, вносит и фотоиндуцированный ток утечки по границам окисел-полупроводник и кремний-арсенид галлия, геттерирующим на себя наибольшее количество точечных дефектов. Это подтвер-

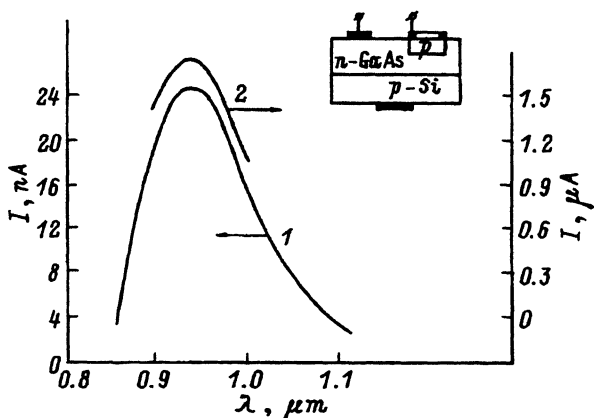


Рис. 3. Фотоотклик I диффузионного $p-n$ -перехода до (1) и после (2) переключения свет \rightarrow тень \rightarrow свет.

ждается зависимостью величины фотоиндуцированного тока от размеров светового пятна. Относительная спектральная характеристика фоточувствительности гетероперехода (рис. 2, б) и диффузионного $p-n$ -перехода в длинноволновой части спектра практически не отличается (рис. 2, а), что подтверждает влияние гетерограницы $n-GaAs/p-Si$ на спектральную характеристику диффузионного $p-n$ -перехода.

При оценке зависимости КПД фотоэлектрического преобразования $p-n$ -перехода $p-GaAs/n-GaAs$ структуры $p-GaAs/n-GaAs/p-Si$ от величины освещенности в диапазоне $10^{-8} \div 10^{-7}$ Вт/мм² обнаружено, что с ростом величины светового потока в 20 раз КПД увеличивается примерно на 3 порядка. Это указывает на наличие большого количества фотоиндуцированных ловушек в структуре.

По результатам исследований установлено, что вблизи максимума спектральной чувствительности диффузионного $p-n$ -перехода в длинноволновой области спектра наблюдается два устойчивых состояния при одинаковой величине светового потока (рис. 3). При этом переход из одного устойчивого состояния в другое происходит скачкообразным изменением тока при переключении свет \rightarrow тень \rightarrow свет. Значение тока при таком переключении увеличивается примерно на 2 порядка во всем спектральном диапазоне, где обнаруживается указанный эффект (рис. 3). При переходе в область меньших значений тока, с изменением длины волны светового потока или уменьшением его величины происходит обратное переключение. Порог возникновения эффекта бистабильности связан с величиной фототока, генерируемого светом в области пространственного заряда гетероперехода $n-GaAs/p-Si$ рассматриваемой структуры и, вероятно, связан с прыжковой проводимостью.

Таким образом, методом газофазной эпитаксии в системе $Ga(CH_3)_3-H_2-AsH_3$ были получены фоточувствительные структуры $p-GaAs/n-GaAs/p-Si$ с плотностью дислокаций в эпитаксиальном слое арсенида галлия 10^7 см⁻². Выявлено сильное влияние гетероперехода $n-GaAs/p-Si$ на спектральную характеристику диффузионного $p-n$ -перехода, которое приводит к образованию длинноволнового противоположного по знаку пика в спектральной характеристике $p-n$ -перехода, сформированного в арсениде галлия. Установлено, что увеличение светового потока в десятки раз приводит к возрастанию КПД диффу-

зионного $p-n$ -перехода на несколько порядков, что можно объяснить дефектностью эпитаксиального слоя арсенида галлия, которая и определяет низкую чувствительность диффузионного $p-n$ -перехода при малом уровне освещенности. Обнаружен также эффект скачкообразного изменения фототока диффузионного $p-n$ -перехода исследуемой структуры при переключении свет \rightarrow тень \rightarrow свет, который зависит как от длины волны, так и от величины светового потока.

Список литературы

- [1] М.Б. Каган. *Гетерогенные, каскадные и комбинированные фотопреобразователи на основе арсенида галлия* (Л., Наука, 1986) с. 205.
- [2] *Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики*, под ред. Т.Каутца и Л.Микина (М., Мир, 1988).
- [3] Z. Sobiesierski, D.A. Woolf, D.J. Westwood. *Mater. Sci. Eng. B*, **5**, 275 (1990).
- [4] Morkos Hadis. *Heteroepitaxy silikon symp.* (Palo Alto, Calif., 1986) [Pittsburgh (Pa) (1986)] p. 149.
- [5] Zwei Technologieweiten vereint / Elektroniker. *BRDO*, **27**, N 12, p. 15.

Редактор Л.В. Шаронова

Photosensitivity of epitaxial p -GaAs/ n -GaAs/ p -Si structure

L.A.Ivanyutin, F.M.Katsapov, S.Yu.Rakhley, I.N.Tzyplenkov

Institute for Electronics Academy of Sciences of Belorussia, 220841, Minsk, Belarussia