

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДВУХБАРЬЕРНОЙ $pAlGaInAs-nGaAs:O-Au$ -СТРУКТУРЫ

У. М. Бузруков

Физико-технический институт НПО "Физика-Солнце" АН Руз, Ташкент
Узбекистан

Поступила в редакцию 12.10.2005

В настоящей работе приводятся результаты исследования интегральной фоточувствительности двухбарьерной $p-n-m$ -структуры. Исследуемые структуры изготовлены выращиванием из жидкой фазы гетерослоя $AlGaInAs$ p -типа проводимости толщиной 1 мкм на подложках $nGaAs$ толщиной 350 мкм.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и использование оптических методов приема, передачи и обработки информации привело к увеличению номенклатуры приемников оптического излучения основанных на различных физических принципах действия и конструктивных решениях. Например, в двухэлектродных полупроводниковых диодах, их основу составляет $p-n$ -переход или металл-полупроводниковый выпрямляющий переход металл-полупроводник. Они содержат один потенциальный барьер. В фотодиодах с одним барьером фототок при заданной освещенности с рабочим напряжением остается на одном уровне или уменьшается, то есть не имеет места внутреннее усиление.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения внутреннего фотоэлектрического усиления приращение фототока от напряжения должно превалировать над приращением темнового тока. Такой случай можно реализовать при перераспределении области сильного электрического поля, так чтобы она занимала более протяженную область. Технологически это условие можно реализовать за счет разделения областей поглощения и умножения, тогда до охвата области умножения электрическим полем фототок не будет возникать, то есть для получения первичного фототока требуются большие напряжения от 80 вольт и выше [1], что ограничивает возможность их применения в низковольтных микро и оптоэлектронных устройствах.

Другая категория полупроводниковых приборов трехэлектродные биполярные транзисторы, содержащие два выпрямляющих

перехода [2]. Кроме них созданы полупроводниковые диодные структуры с несколькими последовательно расположенными потенциальными барьерами [3], которые работоспособны при малых интенсивностях освещения, с управляемой зависимостью выходного сигнала от входного в широком диапазоне светового излучения и рабочего напряжения. Оценка их параметров и анализ функциональных свойств осуществляется в зависимости от типа и класса прибора.

В настоящей работе приводятся результаты исследования интегральной фоточувствительности двухбарьерной $p-n-m$ -структуры.

Исследуемые структуры изготовлены выращиванием из жидкой фазы гетерослоя $AlGaInAs$ p -типа проводимости толщиной 1 мкм на подложках $nGaAs$ толщиной 350 мкм. Концентрация носителей в p -слое составляла $N_p = 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а в $4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. На поверхность $pAlGaInAs$ напылением в вакууме через маску нанесены омические контакты из $Au + Zn$, а с тыльной стороны подложки сформирован полупрозрачный ($\sim 70 \text{ E}$) выпрямляющий контакт из Au . Структуру можно возбуждать световым излучением со стороны гетерослоя и потенциального барьера металл-полупроводник. При подаче положительной полярности напряжения к p -слою он становится аналогом длинного диода, то есть инжекционного диода [4], поскольку толщина базовой области намного больше диффузионной длины не основных носителей. При смене полярности приложенного напряжения может выполнять функцию фотоприемника приближаясь по свойствам к $p-i-n$ -диодам, но с управляемой напряжением толщиной обедненной области.

Особенность данной структуры такова, что в любом из направлений один из переходов входит в режим запираания, а другой в режим прямого смещения. Исследования хода расширения слоев объемного заряда каждого из переходов показали, что если слои обеднения прямо смещающих переходов сужаясь, приобретают неизменные значения, то в запираемых переходах их толщины возрастают, рис. 1, 2 – вставка.

На рис. 1 приведены вольтамперные характеристики структуры в режиме $\Phi \rightarrow (+)p-n-m(-)$ при возбуждении со стороны гетерослоя интегральным излучением. Видно, что от интегрального освещения интенсивностью $1,62 \cdot 10^{-4}$ Вт возникает световой ток на полтора порядка больше темнового и увеличивается вначале до 20 В не линейно, а затем близко к линейной, причем с увеличением интенсивности до $4,69 \cdot 10^{-4}$ Вт ход кривой повторяется (рис. 1, кривая 3).

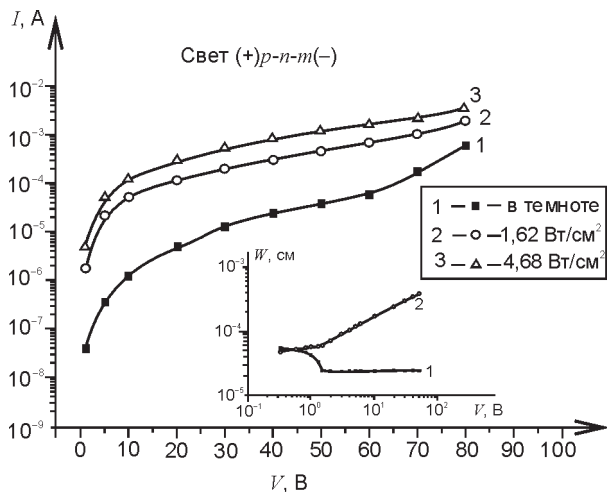


Рис. 1. Зависимости световых характеристик от напряжения. Вставка – зависимости $J \sim V$ для прямого 1 – $p-n$ и 2 – запираемого $n-Au$ -барьера.

При смене полярности рабочего напряжения $\Phi \rightarrow (-)p-n-m(+)$ (рис. 2, кривые 2, 3) световой ток во всем диапазоне напряжений по сравнению с темновым (рис. 2, кривая 1) увеличивается имея равные значения, причем рост темнового тока в области напряжений от 10 до 50 вольт не превышает полпорядка. Наблюдаемое поведение световых характеристик в данном режиме свидетельствует о том, что характер изменения толщины слоев объемного заряда от напряжения при освещении интегральным светом различной ин-

тенсивности практически одинаков, рис. 2 – вставка.

Что касается фототоков в режиме прямого смещения фототок (разность светового и темнового токов ($I^\Phi = I^{св} - I^{тем}$)) с напряжением вначале до 10 вольт несколько возрастает, а затем наблюдается тенденция к последующему уменьшению.

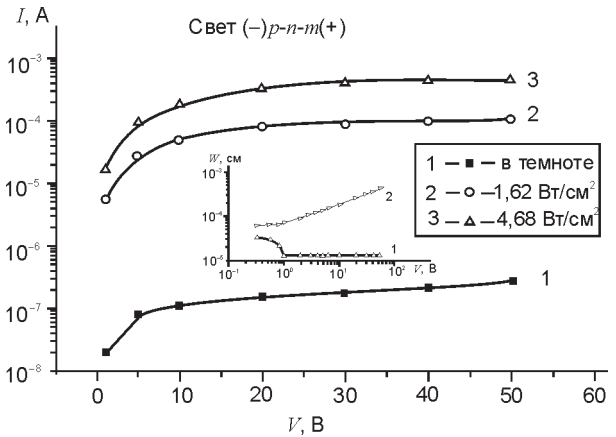


Рис. 2. Вольтамперные характеристики $p-n-m$ -структуры при различных освещениях. Вставка зависимости $J \sim V$ для прямого 1 – $n-Au$ и 2 – запираемого $p-n$ -перехода.

При смене полярности напряжения наблюдается насыщающийся характер зависимости фототока от напряжения (рис. 2, кривые 2, 3), причем величина фототока во всем диапазоне напряжений практически имеет одинаковые величины. Для заданной мощности излучения ($\Phi = 1,62 \cdot 10^{-4}$ Вт) токовая фоточувствительность

$$S_i^\Phi = \frac{I^\Phi}{\Phi}, \quad (1)$$

при возбуждении со стороны гетероперехода для режима $(+)p-n-m(-)$ от рабочего напряжения увеличивается до $8,58$ А/Вт, рис. 3, кривая 1.

При смене полярности рабочего напряжения $(-)p-n-m(+)$ фоточувствительность меньше на порядок и ход роста принимает сублинейный характер, рис. 3, кривая 2. Наблюдаемые зависимости фототока и фоточувствительности от рабочего напряжения при возбуждении со стороны гетероперехода можно объяснить соответствующими механизмами токопереноса, то есть инжекционным и генерационным.

Так с увеличением тока через структуру растет инжекция носителей заряда в базу и

уменьшается ее сопротивление. Чем больше будет напряжение тем больше будет коэффициент инжекции (2). Под действием прямо смещаемого напряжения через $p-n$ -переход инжектируются дырки в n -область, концентрация которых увеличивается экспоненциально

$$\gamma_p = \frac{I_p}{I_p + I_n} \neq 1 \text{ и } \gamma_n = \frac{I_n}{I_p + I_n} \neq 1. \quad (2)$$

$$N_p = N_{p0} \exp \frac{qV}{kT}. \quad (3)$$

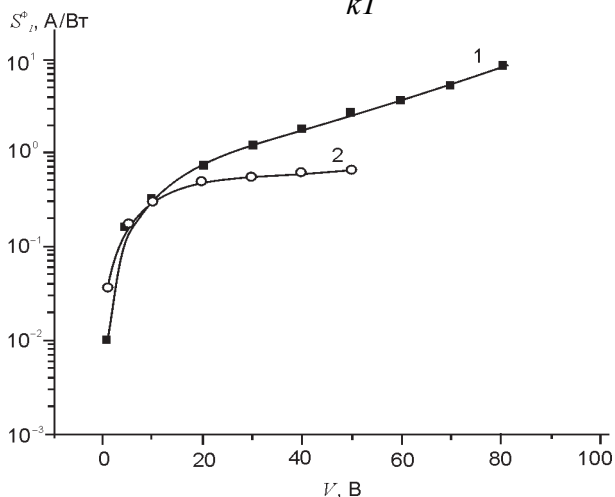


Рис. 3. Зависимости фоточувствительности от напряжения при освещении со стороны гетероперехода $\Phi = 1,62 \cdot 10^{-4}$ Вт: 1 – прямо, 2 –обратно.

Часть из них рекомбинирует в объеме и на поверхности активной области, а оставшаяся часть направляясь к запираемому барьеру захватывается его полем и достигает контакта. По мере увеличения напряженности электрического поля количество инжектируемых носителей возрастает, которые рекомбинируясь с неосновными носителями уменьшают концентрацию ионизованных примесей, что приводит к уменьшению сопротивления $p-n$ -перехода, а также базовой области и к соответствующему увеличению коэффициента

инжекции (смещению рабочей точки в область больших токов – полей) [4]. Изменение концентрации носителей при освещении приводит к изменению толщины слоя объемного заряда обедненных областей.

В режиме запираания $p-n$ -перехода осуществляется прямое возбуждение носителей с обедненного слоя пропорционально ее толщине. Изменение толщины слоев объемного заряда в области напряжений свыше 1 – 1,3 вольта осуществляется по одному и тому же закону, рис 2. В режиме запираания $p-n$ -перехода фоточувствительность определяется превалированием изменения эффективного времени жизни не основных носителей [5].

ВЫВОДЫ

Таким образом, при одной полярности имеем инжекционный фотодиод, а в случае освещаемого запираемого гетероперехода аналог близкий к $p-i-n$ -фотодиоду. Поскольку при этом процессы, происходящие на неосвещаемом $n-m$ -переходе (куда интегральный свет с 0,55 мкм не доходит), не могут оказать влияние из-за ограничения его тока запираемым $p-n$ -гетеропереходом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фотоника. Пер. с англ. Под. ред. Елисонова М.И. – М.: Мир, 1978. – 686 с.
2. Источники и приемники излучения. – Санкт-Петербург. Политехника, 1991. – 240 с.
3. Каримов А.В. Трехбарьерный фотодиод// Лазерная техника и оптоэлектроника. – 1990. – № 3. – С. 53-55.
4. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
5. Слободчиков С.В., Салихов Х.М., Саморуков Б.Е. Токотенос в диодных структурах Fe-p-InP // ФТП. – 2003. – Т. 37, Вып. 2. – С. 192-195.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЧУТЛИВОСТІ ДВОБАР'ЄРНОЇ $pAlGaInAs-nGaAs:O-Au$ -СТРУКТУРИ У. М. Бузруків

У цій роботі приводяться результати дослідження інтегральної фоточутливості двохбар'єрної $p-n-m$ -структур. Досліджувані структури виготовлені вирощуванням з рідкої фази гетерошару $AlGaInAs$ p -типу провідності товщиною 1 мкм на підкладках $nGaAs$ товщиною 350 мкм.

RESEARCH OF PHOTO-SENSITIVE 2-BARRIER $pAlGaInAs-nGaAs:O-Au$ -STRUCTURE U. Buzrukiv

The results of the research concerning the integral photosensitivity of 2-barrier $p-n-m$ structure are given in the present work. Studied structures are prepared by hetero-layer $AlGaInAs$ growing from the liquid phase with p type of conductivity and thickness of 1 mm on the substrates $nGaAs$ with thickness of 350 mm.