

ТРЕХБАРЬЕРНЫЕ ФОТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Д.М. Ёдгорова, А.В. Каримов, Б.М. Камонов, Э.Н. Якубов

НПО "Физика-Солнце" (Ташкент), Узбекистан

Поступила в редакцию 10.09.2009

На основании спада фотонапряжения при возбуждении трехбарьерной фотодиодной Ag-pGaAs-nGaAs-Ag-структуры прямоугольным световым импульсом от светодиода с $\lambda = 0,95$ мкм определены времена жизни неосновных носителей, квантовая эффективность для заданного напряжения. Расчетные данные показывают, что арсенидгаллиевые трехбарьерные фотодиодные структуры благодаря низким значениям емкости обладают высоким частотным диапазоном.

Ключевые слова: Трехбарьерный фотодиод, спад напряжения, время жизни неосновных носителей, светодиод, емкость.

На підставі спаду фотонапруги при порушенні трьохбар'єрної фотодіодної nGaAs-Ag-структури прямокутним світловим імпульсом від світлодіода з $\lambda = 0,95$ мкм визначені часи життя неосновних носіїв, квантова ефективність для заданої напруги. Розрахункові дані показують, що арсенідгалієві трьохбар'єрної фотодіодної структури завдяки низьким значенням ємності володіють високим частотним діапазоном.

Ключові слова: трьохбар'єрний фотодіод, спад напруги, час життя неосновних носіїв, світлодіод, ємність.

On the basis of photovoltage drop at excitation three-barrier photodiode Ag-pGaAs-nGaAs-Ag-structure by a rectangular light impulse from the light diode with $\lambda = 0,95$ μm the minority carriers lifetimes, quantum efficiency for given voltage are determined. The design data demonstrate that gallium-arsenide three-barrier photodiode structures due to low values of capacity have high frequency band.

Keywords: three-barrier photodiode, voltage drop, minority carrier lifetime, light diode, capacity.

Наряду с волоконно-оптическими системами широкое распространение начинают получать открытые оптические системы, обеспечивающие мобильность передачи информации на близкие расстояния и где трудно проложить оптические волокна. В них используются фотодиоды, работающие в широком спектральном диапазоне 0,6 – 1,6 мкм [1]. Задача повышения их частотного диапазона, как показали авторы работы [2], осуществляется за счет уменьшения емкости путем создания мезаструктуры с возможно минимальными площадями или конструктивными изменениями [3]. Однако их удельные емкости при этом фактически будут иметь относительно большие значения.

В настоящей работе сообщается о создании и исследовании арсенидгаллиевых трехбарьерных фотодиодов на основе интегрирования полупроводникового p-n-перехода и барьера Шоттки.

Фотодиодные структуры создавались выращиванием из жидкой фазы эпитаксиаль-

ного слоя GaAs p-типа проводимости на подложке арсенида галлия n-типа. Концентрация носителей в выращенном слое толщиной 2 мкм составляла $7 \cdot 10^{15}$ см⁻³, а в подложке $7 \cdot 10$ см⁻³. Напылением в вакууме полупрозрачных слоев серебра на обе поверхности получены выпрямляющие переходы. Таким образом, была изготовлена трехбарьерная Ag-pGaAs-nGaAs-Ag-структура с площадью 5×5 мм.

В ранее опубликованных нами работах [4] было показано, что трехбарьерные фотодиодные Ag-pGaAs-nGaAs-Ag-структуры обладают работоспособностью при обеих полярностях рабочего напряжения и при подсветке любой их поверхностей. Путем оценки перераспределения потенциала на каждом из переходов были определены механизмы токопереноса, в частности, смена термоэлектронной эмиссии носителей генерацией в области объемного заряда потенциальных барьеров [5].

Путем возбуждения прямоугольными световыми импульсами фотодиодной структуры можно определить параметры, характеризующие фотоэффективность и частотные свойства фотодиода (рис. 1).

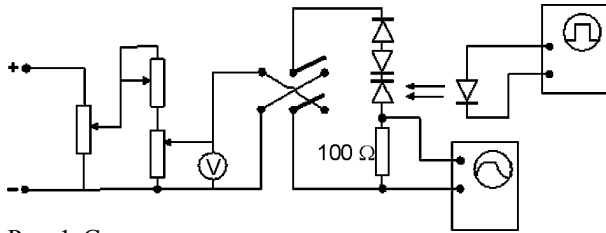


Рис. 1. Схема исследования переходных характеристик фотодиода.

Исследования проводились путем возбуждения трехбарьерной фотодиодной Ag-pGaAs-nGaAs-Ag-структуры световыми импульсами прямоугольной формы с длительностью 40 мкс от светодиода с длиной волны 0,95 мкм и мощностью 5 мВт. Сама фотодиодная структура с последовательно соединенным к нему нагрузочным сопротивлением ($R_n = 100 \text{ Ом}$) включалась к блоку питания с регулируемым напряжением, который обеспечивал рабочий режим (1,25 В). С нагрузочного сопротивления напряжение создаваемое от подсветки фиксировался осциллографом. В результате получали переходные процессы, описывающие нарастание и спад напряжения от генерированных фотоносителей. Как известно, напряжение на фотодиоде меняется

пропорционально $\frac{kT}{q} \ln\left(-\frac{t}{\tau}\right)$ при включении

света и пропорционально при выключении

света. Откуда из линейного участка спада фотонапряжения (рис. 2) определяли время жизни фотогенерированных неосновных носителей и ряд параметров связанных с ним. Так время жизни определенное из линейного участка зависимости $U \sim f(t)$ с

$\partial t = 30 \text{ мкс}$ на основе формулы

оказалось равным $1,87 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$, что на два порядка больше времени жизни темновых неосновных носителей ($6 \cdot 10^{-8} \text{ с.}$) [6].

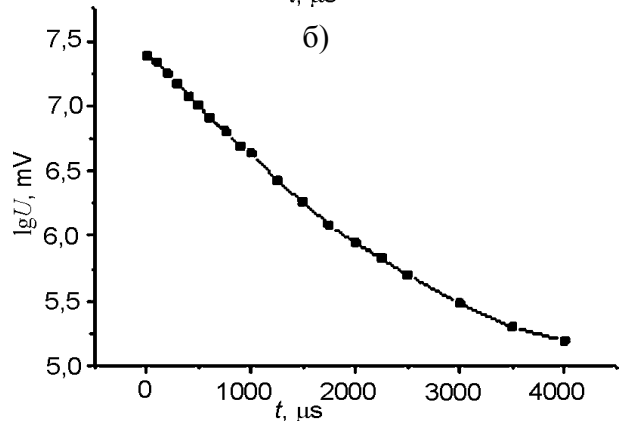
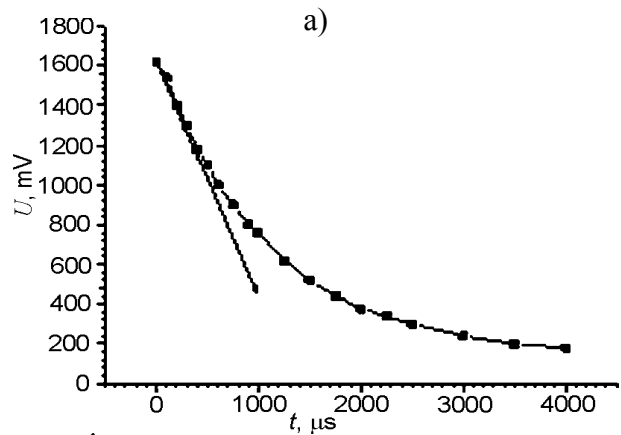


Рис. 2. Спад фотонапряжения фотодиода 7ФК при возбуждении прямоугольным световым импульсом от СД с $\lambda = 0,95 \text{ мкм}$ в обычном (а) и полулогарифмическом масштабах (б).

Наблюдаемое увеличение времени жизни при световом возбуждении вызвано с изменением концентрации неравновесных носителей ($\Delta P, \Delta N$) под влиянием квантов света, так как в фотодиоде реализуется принцип регистрации изменения концентрации неравновесных носителей ($\Delta P, \Delta N$). При выполнении условия тонкости фотоприемной области $d \ll L_p, L_n$ за счет поглощения фотонов в $n(p)$ -области фототок будет расти пропорционально ΔP неравновесной концентрации фотогенерированных носителей описываемой за-

висимостью , т.е. для известных

значений фототока

$$I^\Phi = \frac{\partial U}{R_n} = \frac{0,3B}{100\Omega} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ А}, \quad L_p = 10^{-4} \text{ см}$$

и времени жизни неосновных носителей

$= 1,87 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$ можно определить неравновесную концентрацию фотогенерированных носителей ΔP :

$$=3,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}.$$

Характерным для исследуемой структуры является то, что зависимость фотонапряжения от времени разбивается на два участка, где первый участок (30 мкс) обусловлен обратной диффузией генерированных носителей, а продолжение включением процессов рекомбинации (рис. 2б). Отсутствие изломов в зависимости фотонапряжения от времени свидетельствует об отсутствии дополнительных каналов рекомбинации, как на неоднородностях поверхности, так и в объеме [7].

Темп генерации фотоносителей характеризуется отношением концентрации фотогенерированных носителей ко времени жизни неосновных фотоносителей:

$$G = \frac{\Delta P}{\tau_p^\Phi} = \frac{3,5 \cdot 10^{14}}{1,87 \cdot 10^{-6}} = 1,87 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}/\text{с}.$$

С другой стороны темп генерации фотоносителей связан с коэффициентом поглощения определяющей квантовую эффективность фотодиода $\eta = G/\alpha\Phi$.

Для этого, воспользовавшись известной зависимостью энергии излучения фотона с длиной волны [8]: $Q = (h \cdot c)/\lambda(1)$ можно определить число квантов $\Phi = (1/Q) = N(1 \text{ Вт}) = 1/20,83 \cdot 10^{-20} = 4,8 \cdot 10^{18}$ фотон/с·м² или на 1 мм² будем иметь $4,8 \cdot 10^{16}$ фотон/с. и соответственно квантовая эффективность будет равна

$$\eta = G/\alpha\Phi; \quad \eta = \frac{1,87 \cdot 10^{20}}{10^4 \cdot 4,8 \cdot 10^{16}} = 0,39.$$

Фоточувствительность структуры при данном напряжении 1,25 В для $\lambda = 0,95$ мкм составляет $S_{0,95} = (I^\Phi/P) = 3,10^{-3} \text{ А}/5,10^{-3} \text{ Вт} = 0,6 \text{ А}/\text{Вт}$. Величина фоточувствительности увеличивается с повышением рабочего напряжения (рис. 3).

Обнаружительная способность оцененная на основе выражения [9]:

$$D_\lambda = \frac{e\lambda}{hc} \eta \left(\frac{R_0 A}{4kT} \right)^{1/2}$$

при $R_0 = 3,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$ и $A = 0,25 \text{ см}^2$ составляет $2,1 \cdot 10^{11} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Сравнительно низкие значения времени жизни неосновных носителей и емкости сви-

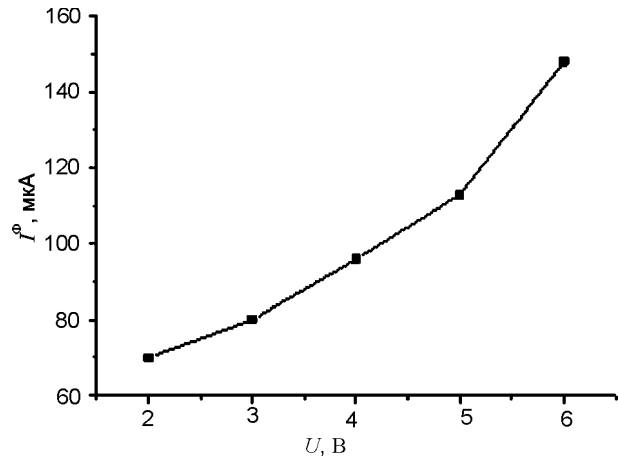


Рис 3. Зависимость фототока от напряжения при освещенности 75 лк.

детельствуют о быстродействии трехбарьерной структуры. Ее величину можно оценить с помощью времени пролета фотовозбужденных носителей и постоянной времени RC-цепочки, согласно выражению:

$$\tau_{RC} = (R_{\text{посл.}} + R_{\text{н}})C_{\Phi},$$

где $R_{\text{посл.}}$ – последовательное сопротивление фотодиода, $R_{\text{н}}$ – сопротивление нагрузки, C_{Φ} – емкость фотодиода. Соответственно ширина полосы будет определяться выражением

[10]:

Данные экспериментальных измерений и расчета характеристических параметров трехбарьерного фотодиода сведены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментально расчетные данные характеристических параметров трехбарьерного фотодиода

U, В	C, Ф	R _{посл.} , Ом	R _н , Ом	τ _{RC} , сек	f _c , Гц
0	25·10 ⁻¹²	10	100	2,75·10 ⁻⁹	5,8·10 ⁷
-0,056	20·10 ⁻¹²	10	100	2,2·10 ⁻⁹	7,2·10 ⁷
0,056	26·10 ⁻¹²	10	100	2,8·10 ⁻⁹	2,8·10 ⁷

Как следует из результатов исследований в полученных трехбарьерных фотодиодных структурах время пролета носителей меньше времени жизни неосновных носителей. Предельная частота находится в мегагерцевом диапазоне, что делает возможным их использование в оптических системах связи. Низкие значения емкости в отличие от известных приемов уменьшения площади структуры

достигнуты за счет последовательного соединения емкостей трех барьеров.

Таким образом, на основании спада фотонапряжения трехбарьерной $Ag-pGaAs-lGaAs-Ag$ -структуры при возбуждении прямоугольным световым импульсом от светодиода с $\lambda = 0,95$ мкм определены времена жизни неосновных носителей, квантовая эффективность для заданного напряжения. Экспериментально показано, что арсенидгаллиевые трехбарьерные фотодиодные структуры обладают низкой емкостью обеспечивающей высокий частотный диапазон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алферов Ж.И., Васильев М.Г., Гореленок А.Т. и др. Лавинные фотодиоды на основе гетероструктур $InP/GaInAsP$ с $p-n$ -переходом// Письма в ЖТФ.–1982.–Т. 8, Вып. 12. – С. 722.
2. Андреев И.А., Ильинская Н.Д., Куницына Е.В., Михайлова М.П., Яковлев Ю.П.. Высокоэффективные фотодиоды на основе $GaInAsSb/GaAlAsSb$ для спектрального диапазона $0,9 - 2,55$ мкм с большим диаметром чувствительной площадки//ФТП. – 2003. – Т. 37, Вып. 8. – С. 974-979.
3. Аверин С.В. Импульсный отклик МПМ фотодиода с гетеробарьером//ЖТФ. – 2004. – Т. 74, вып. 6. – С. 54-56.
4. Ёдгорова Д.М., Агзамова М.Х. Температурная зависимость ВАХ фотодиодов на основе арсенида галлия//Узб. физич. журн. – 1995. – № 3. – С. 61-64.
5. Каримов А., Ёдгорова Д., Болтаева Ш., Зоирова Л.Х. Оценка перераспределения потенциала в трехбарьерной структуре//ТКЭА. – 2006.– № 4. – С. 30-35.
6. Каримов А.В. Многофункциональные арсенидгаллиевые тонкопереходные структуры//Ташкент: ФАН. – 1992. – С.17-20.
7. Власенко А.И., Гнатюк В.А., Городниченко Е.С., Мозоль П.Е. Влияние уровня возбуждения и электрического поля на релаксацию фотопроводимости поликристаллических слоев $Cd_xHg_{1-x}Te/GaAs$ //ФТТ. – 2000. – Т. 42, Вып. 7. – С. 1187-1192.
8. Крутик М.И., Майоров В.П. Люмены, канделы, ватты и фотоны//Специальная техника. – 2002. – № 5. – С. 1-8.
9. Сукач А.В., Тетеркин В.В. Процессы генерации и рекомбинации носителей в арсениде индия и фотодиодах на его основе//Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 2007. Вып. 42. – С.103-113.
10. Чео П.К. Волоконная оптика/Пер. с англ. Г.И. Литвиновой и Ю.Т. Ларина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 245-246.

© Д.М. Ёдгорова, А.В. Каримов, Б.М. Камонов, Э.Н. Якубов, 2009.