ČESKOSLOVENSKÁ SOCIALISTICKÁ REPUBLIKA
(19)

FEDERÁLNÍ ÚŘAD PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(11) 266221

(13) B1

(51) Int. Cl.[4]
H 01 L 31/00

(21) PV 2714-85
(22) Přihlášeno 12 04 85

(40) Zveřejněno 15 10 87
(45) Vydáno 24.09.90.
(89) 1102438, 01 06 82, SU

(75) Autor vynálezu

BENČ WILIAM, DUBECKÝ FRANTIŠEK, MEŽINSKÝ KAREL,
MORVIC MARIAN, BRATISLAVA, (CS),
KOLČANOVA NINEL MICHAJLOVNA,
MICHAJLOVA MAJA PAVLOVNA,
JASSNĚVIČ IRINA NIKOLAJEVNA, LENINGRAD, (SU)

(54) Fotoelektrické čidlo a způsob řízení jeho citlivosti

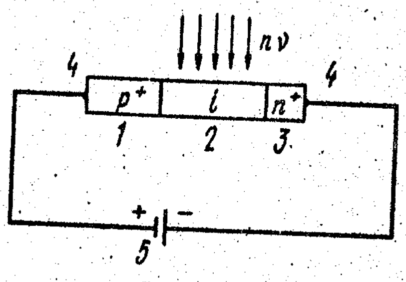
(57) Čidlo nalezne použití v optoelektronice, v optických spojích apod. Fotoelektrické čidlo zahrnuje strukturu p-i-n na základě GaAs, kde oblast - i - je legována donorem simetrie Γ_6, jejíž průřez fotoionizace pro děj s přechodem elektronu z valenčního pásma na hladinu příměsi je nejméně o řád vyšší než průřez fotoionizace pro děj s přechodem elektronu z hladiny příměsi do oblasti vodivosti, přičemž aktivační energie příměsi je spojena s polohou Fermiovy hladiny E_f v oblasti - i - poměrem:

$$E_t + 2kT < E_f < E_t + 6kT, \text{ kde}$$

k-Boltzmannova konstanta, T-teplota ve stupních Kelvina. Zvýšení citlivosti fotoelektrického čidla v spektrálním rozsahu 1-1,4 μm při současné aplikaci elektrického napětí U v přímém směru se provádí vytvořením ionizace příměsí cestou aplikace napětí U dle vztahu:

$$10^3 < \frac{U}{d_i} < 4.10^3, \text{ kde}$$

d_i-tloušťka - i -.



ФИГ. 1

CS 266221 B1

266221

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

Заявлено: 01.06.82
Заявка № 3466573/18-25
МКИ³ H 01 L 31/00, H 01 L 31/06
Авторы: Бенч Вилиам, Дубецки Франтишек, Межински Карол, Морвиц Мариан (ЧССР), Н.М.Колчанова, М.П.Михайлова и И.Н.Яссиевич
Заявитель: Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе
Название изобретения: ФОТОПРИЕМНИК И СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ЕГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Настоящее изобретение относится к области полупроводниковых фотоэлектрических приборов и может быть использовано в оптоэлектронике, системах оптической связи и так далее.

Известен фотоприемник на основе p - i - n структуры, например, Si, работающий в спектральном диапазоне 0,5-1,0 мкм [1]. Известное устройство содержит i-область, выполненную путем перекомпенсации мелкой акцепторной примеси. Способ использования таких фотоприемников заключается в освещении структуры через p-область светом из области собственного поглощения при одновременном приложении электрического напряжения в обратном направлении.

Недостатком его является неработоспособность в спектральном диапазоне 1 - 1,4 мкм. Быстродействие его составляет $\tau \approx 10^{-10}$с.

Наиболее близким техническим решением является фотоприемник, включающий p - i - n структуру на основе GaAs i-область которой легирована примесью с энергией активации E_t, сравнимой с шириной запрещенной зоны, а толщина i-области не превышает обратной величины коэффициента поглощения света в примесной области [2]. В этой структуре i-область создана диффузией глубокой примеси Cr в n-материал с концентрацией носителей тока 10^{16} - 10^{17} см$^{-3}$.

Наиболее близким техническим решением в части способа является способ управления чувствительностью фотоприемника, включающий освещение i-области светом из спектрального интервала 1-1,4 мкм при одновременном приложении электрического напряжения в прямом направлении [2].

Недостатком таких фотоприемников и способа использования их является то, что чувствительность в примесной области 1-1,4 мкм ниже чувствительности в собственной области сблизи 0,85 мкм, а быстродействие, определяемое длиной диффузионного смещения неосновных носителей тока, составляет $\tau = 10^{-9}-10^{-10}$с. При изменении электрического напряжения чувствительность в диапазоне 1 - 1,4 мкм мала и изменяется слабо. В то же время задачи оптоэлектроники и волоконно-оптической связи требуют создания быстродействующих высокочувствительных фотоприемников, в особенности для спектрального диапазона 1-1,4 мкм.

Целью настоящего изобретения является повышение чувствительности в спектральном интервале 1-1,4 мкм с сохранением быстродействия прибора.

Поставленная цель достигается тем, что в фотоприемнике, включающем p - i - n структуру на основе GaAs, i-область которой легирована примесью с энергией активации E_t, сравнимой с шириной запрещенной зоны, а толщина i-области не превышает обратной величины коэффициента поглощения света в примесной области, i-область легирована донорной примесью симметрии Γ_6, сечение фотоионизации которой для процесса с переходом электрона из валентной зоны на примесный уровень по крайней мере на порядок больше величины сечения фотоионизации для процесса с переходом электрона с примесного уровня в зону проводимости, энергия активации примеси E_t, отличающаяся от значений полуширины запрещенной зоны не более чем на 3 КТ, связана с положением уровня Ферми E_f в i-области соотношением:

$$E_t + 2kT < E_f < E_t + 6kT,$$

а толщина i-области d_i превышает длину ионизации примеси электронами, где k - постоянная Больцмана, а T - температура в градусах Кельвина.

Поставленная цель достигается тем, что в способе управления чувствительностью фотоприемника, включающем освещение i-области светом из спектрального интервала 1-1,4 мкм при одновременном приложении электрического напряжения в прямом направлении, создают ударную ионизацию примеси путем приложения напряжения U, удовлетворяющего соотношению:

$$10^3 < \frac{4}{d_i} < 4 \cdot 10^3.$$

Сущность изобретения заключается в следующем. Экспериментально установлен неочевидный факт, что в фотоприемнике на основе GaAs p - i - n структуры, где i-область легирована глубокой примесью, можно значительно повысить чувствительность за счет монополярной ионизации этой примеси, если выполнить следующие условия.

Примеси в i-области должна быть донорского типа с симметрией Γ_6. Это условие означает, что примесь является уровнем 1 - с типа и связана с зоной проводимости, а не с валентной зоной. Выполнение условия для сечений фотоионизации: $\sigma_e V$ - сечение для перехода электрона из валентной зоны на примесный уровень по крайней мере на порядок больше, чем $\sigma_e c$ - сечение для перехода электрона с примеси в зону проводимости - означает, что процесс перехода электронов из валентной зоны на примесь, то есть ее заполнение, идет более быстро, что опустошение примеси. На примесном уровне все время существуют электроны, которые могут принимать участие в процессе ударной ионизации. В случае обратного соотношения между сечениями все имеющиеся на примеси электроны быстро будут переведены светом в зону проводимости, примесь опустошается, и стационарный процесс ударной ионизации, приводящий к повышению чувствительности, прекращается.

Примесь выбрана лежащей вблизи середины запрещенной зоны, а именно, энергия ее активации $E_t = E_g/2 \pm 3$ kT. Это важно для того, чтобы свет из области примесного поглощения переводил электроны как из валентной зоны на примесный уровень, так и с примесного уровня в зону проводимости. Если примесь будет лежать ближе к одной из зон, чем этого требует заданное условие, то, во-первых, уходим из интересующего нас спектрального диапазона, во-вторых, чувствительность падает из-за нарушения равновесия между переходами электронов и дырок.

Концентрация носителей заряда в i области связана с положением уровня Ферми и может быть задана условием

$$E_t + 2\,kT < E_f < E_t + 6\,kT,$$

означающим, что примесь при рабочей температуре не полностью занята электронами ($E_f < E_t + 6\,kT$) и не полностью опустошена ($E_t + 2\,kT < E_f$).

Толщина i -области должна быть больше длины ионизации примеси электронами для того, чтобы могла идти заметная ударная ионизация примеси, приводящая к увеличению фоточувствительности.

Если фотоприемник, выполненный при соблюдении указанных выше условий, осветить светом из спектрального интервала 1-1,4 мкм и приложить электрическое напряжение в прямом направлении, величина которого удовлетворяет условию 10^3 В/см $< \frac{U}{d_i} < 4\cdot10^3$ В/см, то за счет монополярной ударной ионизации глубокой примеси достигается увеличение чувствительности в указанном спектральном интервале при сохранении быстродействия.

В отличие от известных лавинных фотодиодов, работающих в режиме межзонной ударной ионизации при приложении обратного напряжения, предложенный фотоприемник на основе GaAs p - i - n структуры работает при прямом смещении; при этом все электрическое напряжение фактически приложено к i-области, в которой происходит примесная ударная ионизация. Поля, меньше 10^3 В/см, недостаточны для заметной ионизации примеси, и чувствительность при этом падает. В полях $\frac{U}{d_i} < 4\cdot10^3$ В/см может иметь место явление двойной инжекции, которая будет накладываться на монополярную ударную ионизацию и приведет к сильному увеличению уровня шумов, а следовательно, к снижению положительного эффекта.

В указанном фотоприемнике быстродействие, определяемое временем пролета носителей в i-области, сохраняется не хуже, чем в прототипе, и в оптимальном режиме $\tau_i = \frac{d_i}{V_{др}} \approx 10^{-10}$ с, где $V_{др} = 3\cdot10^7$ см^2/В·с - дрейфовая скорость электронов; $d_i \sim 30$ мкм - толщина i-области.

Отметим, что процесс примесной ударной ионизации в заявляемом фотоприемнике является монополярным. Это дает возможность создать фотоприемник с низким уровнем избыточных шумов [3] и получить высокое усиление фототока при достаточно малых значениях напряжения на i-области ($U \approx 10$ В).

Фотоприемник и способ управления его фоточувствительностью представлены на фиг.1 и 2. На фиг.1 показаны схематическое изображение конструкции фотоприемника и способ его использования. На фиг.2 показано спектральное распределение фоточувствительности GaAs p - i - n структуры при двух значениях электрического напряжения.

Фотоприемник на фиг.1 включает P^+-область 1, i-область 2 толщиной d_i, n^+-область 3, контактная система 4, батарея 5 постоянного тока напряжения $U_Б$.

Устройство работает следующим образом. При освещении i-области 2 шириной d_i светом из спектрального интервала 1-1,4 мкм и при приложении электрического напряжения из интервала 12 В $>$ U $>$ 3 В, так, чтобы (-) батареи 5 постоянного тока был подан на 3, а (+) на 1, используя контактную систему 4, электроны с примесного уровня переводятся в зону проводимости, где разгоняются электрическим полем до энергий, достаточных для ионизации электрона с глубокого примесного уровня, что приводит к увеличению количества электронов в зоне проводимости, следствием чего является повышение фоточувствительности в рассматриваемой области спектра при сохранении быстродействия, которое определяется временем пролета электроном i-области. Повышение фоточувствительности при изменении электрического поля от 1 В до 10 В проиллюстрировано на фиг.2.

На фиг.2 кривая 6 соответствует U = 1 В (E = 31 С² В/см), кривая 7 - U = = 10 В (E = 310³ В/см). Экспериментальные кривые спектральной фоточувствительности были получены при исследовании фотоприемника на основе GaAs p - i - n структуры, содержащей i-область, полученную легированием комплексами хрома. При этом создавался глубокий примесный уровень донорного типа с симметрией Γ_6, что было установлено из сопоставления характера экспериментально измеренной спектральной фоточувствительности с теоретической. Отношение сечений фотоионизации $\sigma_\ell V/\sigma_\ell c$ составляло 12, что удовлетворяет условию, приведенному в формуле. Положительный эффект - повышение фоточувствительности в спектральном интервале 1-1,4 мкм - был получен на примеси с энергией активации E_t = 0,75 эВ, что соответствовало условию расположения ее в запрещенной зоне, указанному в формуле. Концентрация свободных носителей в i-области составляла 10^8-10^9 см$^{-3}$, что соответствовало искомому положению уровня Ферми, толщина i-области составляла d = 30 мкм; при этом длина ионизации в электрических полях, приведенных в формуле, была $l_i \approx 1$ мкм.

Структура освещалась светом из спектральной области 1-1,4 мкм. Способ управления чувствительностью устройства был осуществлен при включении структуры в прямом направлении при приложении напряжения U = 10 В так, что процесс ударной ионизации примесного центра производился при электрическом напряжении U = 10 В (E = 3·10³ В/см). При этом в спектральной области 1-1,4 мкм происходило повышение фоточувствительности на 3 порядка (M = 10³ э по сравнению с фотоответом при малом электрическом поле U = 1 В (E = 3·10² В/см). Быстродействие при этом составляло 10^{-10}сек.

Таким образом, в данном фотоприемнике и способе управления его чувствительностью, представляющими собой единый изобретательский замысел, достигнут новый положительный эффект - повышение фоточувствительности в спектральном интервале 1-1,4 мкм на 3 порядка при сохранении быстродействия.

Кроме того, достоинствами такого фотоприемника по сравнению с уже существующими приемниками с внутренним усилием (например, Ge лавинный фотодиод) является низкий коэффициент избыточного шума, достигнутый за счет ударной ионизации носителя заряда одного знака, а также возможность получения больших усилений при небольших рабочих напряжениях.

Поскольку в настоящее время весьма актуальная задача создания быстродействующих малошумящих фотоприемников для систем волоконно-оптической связи на спектральный диапазон 1-13 мкм, предложенный фотоприемник и способ его использования позволяют решить задачу создания таких приборов.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Фотоприемник, включающий p - i - n структуру на основе GaAs, i-область которой легирована примесью с энергией активации E_t, сравнимой с шириной запрещенной зоны, а толщина i-области не превышает обратную величину коэффициента поглощения света в примесной области, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью повышения чувствительности в спектральном интервале 1-1,4 мкм при сохранении быстродействия, i-область легирована донорной примесью симметрии Γ_6, сечение фотоионизации которой для процесса с переходом электрона из валентной зоны на примесный уровень по крайней мере на порядок больше величины сечения фотоионизации для процесса с переходом электрона с примесного уровня в зону проводимости, энергия активации примеси E_t, отличающаяся от значения полуширины запрещенной зоны не более чем на 3 kT, связана с положением уровня Ферми E_f в i-области соотношением

$$E_t + 2kT < E_f < E_t + 6kT,$$

а толщина i-области d_i превышает длину ионизации примеси электронами, где k - постоянная Больцмана, а T - температура в градусах Кельвина.

2. Способ управления чувствительность фотоприемника, включающий освещение i-области светом из спектрального интервала 1-1,4 мкм при одновременном приложении электрического напряжения в прямом направлении, отличающийся тем, что, с целью повышения чувствительности в спектральном диапазоне 1-1,4 мкм при сохранении быстродействия, создают ударную ионизацию примеси путем приложения напряжения U, удовлетворяющего соотношению

$$10^3 < \frac{U}{d_i} < 4 \cdot 10^3$$

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

1. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов, М., Энергия, 1973, с. 524-525.

2. Selway R.P. Tranus Y. "GaAs infra-red sensitive diod made by diffusion of chromium", Brit Y Appl. Phys (Y Phys D) ser 2, № 1, 1968, pp. 25-28 (прототип).

Признано изобретением по результатам экспертизы, осуществленной Государственным Комитетом СССР по делам изобретений и открытий.

1 чертеж

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

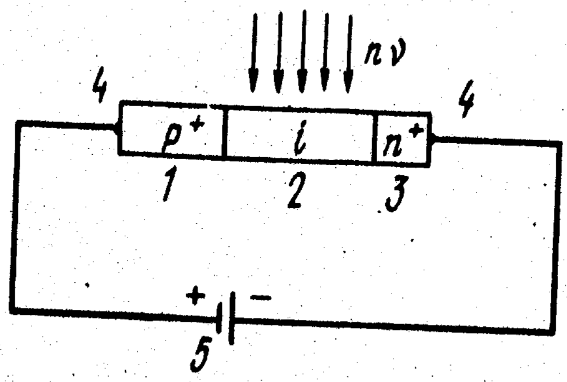
1. Fotoelektrické čidlo, zahrnující strukturu p-i-n na základě GaAs, kde - i - je oblast legovaná příměsí s aktivační energií E_t, srovnatelnou s šířkou zakázaneho pásma, a tloušťka oblasti - i - nepřevyšuje převrácenou hodnotu absorpčního koeficientu světla v příměsové oblasti, vyznačující se tím, že oblast -i- je legována donorem simetrie Γ_6, jejíž průřez fotoionizace pro děj s přechodem elektronu z valenčního pásma na hladinu příměsi je nejméně o řád vyšší než průřez fotoionizace pro děj s přechodem elektronu z hladiny příměsi do oblasti vodivosti, aktivační energie příměsi E_t, lišící se od dané pološířky zakázaného pásma né více než o 3kT, je spojena s polohou Fermiovy hladiny E_f v oblasti -i- poměrem:

$$E_t + 2kT < E_f < E_t + 6kT$$

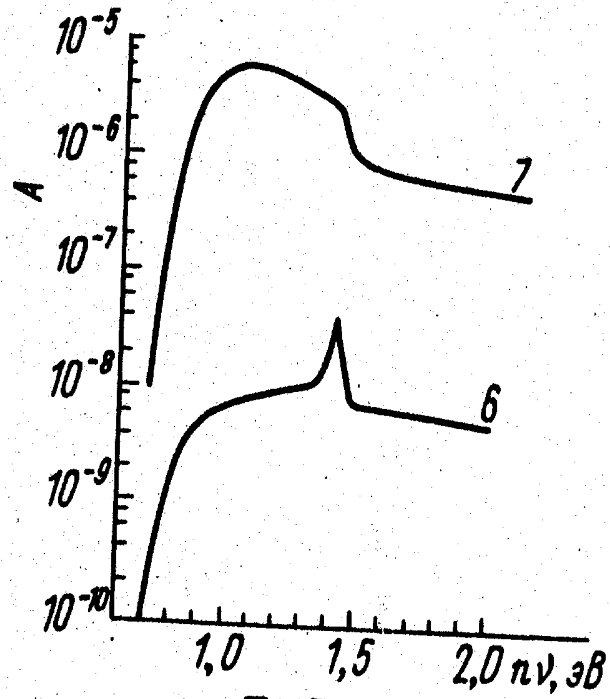
a tloušťka oblasti -i-d_i převyšuje délku ionizace příměsi elektrony, k - Beltzmannova konstanta, a T - teplota ve stupních Kelvina.

2. Způsob řízení citlivosti fotoelektrického čidla podle bodu 1, zahrnujícího osvětlení oblasti -i- světlem ze spektrálního intervalu I - 1,4 µm při současné aplikaci elektrického napětí v přímém směru, vyznačující se tím, že vytvoří ionizace příměsi cestou aplikace napětí U, vyhovující vztahu:

$$10^3 < \frac{U}{d_i} < 4 \cdot 10^3$$



ФИГ. 1



ФИГ. 2

Užgorodský výrobně-polygrafický podnik, Gagarina, 101, Užgorod
№ 1872, Cena 2,40 Kčs