

УДК 539.1.074

ФИЗИКА

Академик АН Армянской ССР **Э. Г. Мирзабекян,**

Ю. А. Абрамян, Р. Г. Симонян, Н. С. Арамян

Приемники ИК-излучения с аномально высокой чувствительностью

(Представлено 15/VII 1980)

Рассмотрим полупроводниковую структуру (рис. 1), на которую падает ИК-излучение в спектральной области собственного поглощения. Приведенная структура подобна структуре полевого транзистора с $p-n$ переходом, у которого внешний контакт к области затвора отсутствует. Примем, что $n_n \ll p_p$ и область объемного заряда $p-n$ перехода целиком располагается в n -области. Через контакты сток-исток (канал) пропускается ток I_c , рост которого приводит к увеличению запирающего напряжения на $p-n$ переходе и расширению объемного заряда в сторону канала (рис. 1,б). Генерируемые падающим ИК-излуче-

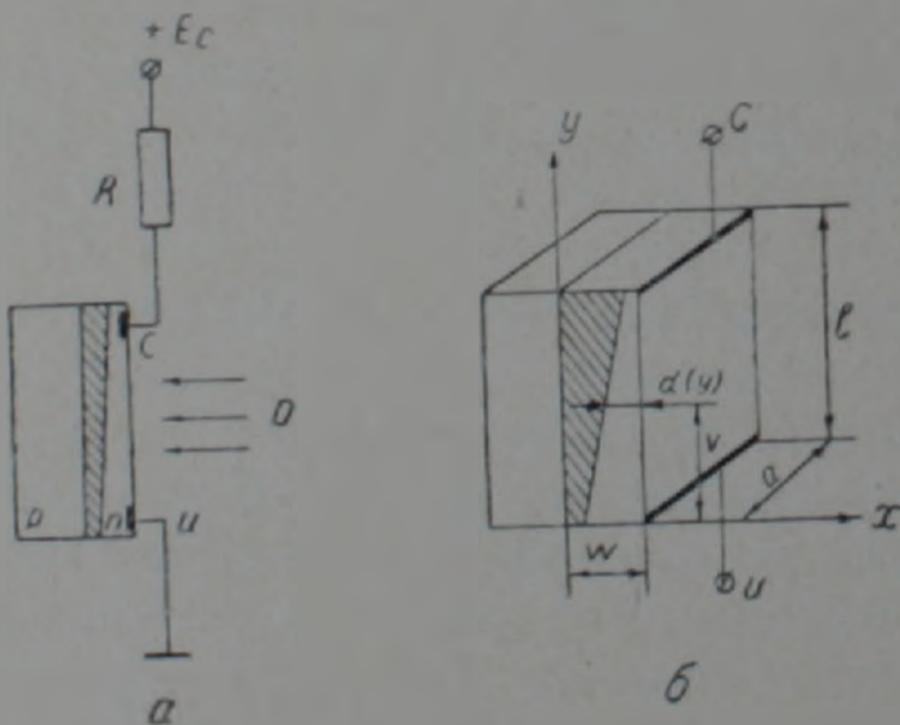


Рис. 1. Приемник ИК-излучения: а—схема включения; б—структура приемника.

нием электронно-дырочные пары разделяются $p-n$ переходом. В нижней части структуры основные неравновесные носители (дырки) снижают высоту потенциального барьера, в результате чего начинается инжекция электронов из n -канала в дырочную область и дырок из

p -области в n -область канала. Поскольку при этом верхние части p - n перехода смещены в обратном направлении, то изменение высоты барьера в нижней части структуры соответствует изменению высоты барьера эмиттерного перехода биполярного n - p - n -транзистора. Однако из условия $n_n \ll p_p$ следует, что инжекцией электронов из n -канала в p -область можно пренебречь. При этом условии изменение высоты потенциального барьера можно представить согласно (1) в виде

$$\Delta\varphi \simeq \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_\Phi}{I_s} + 1 \right). \quad (1)$$

Возникшее фотонапряжение $\Delta\varphi$ с плюсом, приложенным к p -области, эквивалентно действию прямого напряжения, приложенного к затвору полевого транзистора, приводящему к расширению канала и соответствующему росту тока I_c на величину $\Delta I_c = \Delta\varphi \cdot \beta$ (где β — крутизна характеристики полевого транзистора).

Вольт-амперную характеристику рассматриваемой структуры при освещении, исходя из расчетной схемы на рис. 1,б, можно представить в виде:

$$I_c = en_n \mu_n w \frac{a}{l} V_c - \frac{2}{3} e \mu_n n_n \frac{a}{l} \left(\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{en_n} \right)^{1/2} \cdot \left[V_c + \varphi_k - \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_\Phi}{I_s} + 1 \right) \right]^{3/2} + \frac{3}{2} e \mu_n n_n \frac{a}{l} \left(\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{en_n} \right)^{1/2} \cdot \left[\varphi_k - \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{I_\Phi}{I_s} + 1 \right) \right]^{3/2}. \quad (2)$$

Приведенная ВАХ соответствует темновой вольт-амперной характеристике полевого транзистора с p - n переходом (2), однако в качестве напряжения на затворе имеем выражение для $\Delta\varphi$.

Для проведения оценок представим в (2) выражение I_Φ в виде:

$$I_\Phi = \frac{eP\lambda}{hc} \cdot g, \quad (3)$$

где P (вт) — мощность падающего излучения, $g \leq 1$ — эффективность разделения пар. Взяв производную по P , получим выражение для чувствительности в виде:

$$S_I = \frac{dI_c}{dP} = e \mu_n \frac{a}{l} \left(\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{en_n} \right)^{1/2} \cdot \frac{kT}{e} \cdot \frac{\frac{egi}{hc}}{\left(\frac{eP\lambda}{hc} g + I_s \right)} \cdot \left\{ \left[V_c + \varphi_k - \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{eP\lambda}{hc} g + I_s \right) \right]^{1/2} \left[\varphi_k - \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{eP\lambda}{hc} g + I_s \right) \right]^{1/2} \right\}. \quad (4)$$

Численные оценки (4) при $I_s = 10^{-9}$ а (для полевых транзисторов КП303 обратные токи $I_s = (0,1 \div 1) 10^{-9}$ а), $\lambda = 0,9 \cdot 10^{-4}$ см, $V_c = 1$ в и $P = (2 \div 5) 10^{-12}$ вт для маломощных полевых транзисторов дают значение чувствительности $S_I = 2,8 \cdot 10^4$ а/вт.

Соответствующие расчеты при тех же взятых параметрах, но $I_s = 10^{-10} \text{ а}$ дают для чувствительности величину $S_I = 1,8 \cdot 10^5 \text{ а/вт}$. Анализ (4) и оценки чувствительности при различных значениях P ($V_c = \text{const}$) показывают, что максимальная чувствительность имеет место при малых P . Расчеты проводились для значений приложенного напряжения $V_c = (1 \div 2) \text{ в}$, так как в реальных маломощных полевых транзисторах при $V_c > (1 \div 2) \text{ в}$ область канала перекрывается объемным зарядом и соответствующее выражение (2) следует видоизменить.

Поскольку при $P = \text{const}$ с ростом V_c чувствительность растет, то следует ожидать, что максимальная чувствительность будет наблюдаться при значениях V_c , близких к напряжению перекрытия канала.

При включении полевых фототранзисторов в обычном режиме, когда затвор через высокоомный резистор $R_3 \geq (10 \div 50) \text{ МОм}$ заземлен, чувствительность может достигать величины от нескольких десятков до сотен ампер на люмен⁽³⁾, что соответствует примерно $(10^2 \div 10^4) \text{ а/вт}$. Однако такое включение приводит, с одной стороны, к уменьшению чувствительности по сравнению со случаем отсутствия контакта к затвору, а с другой стороны, — к усилению тепловых шумов высокоомного резистора. Как результат сказанного, следует при этом ожидать значительного увеличения эквивалентной мощности шумов ($P_{\text{экв}}$). Поэтому в рассмотренной нами структуре $P_{\text{экв}}$ может оказаться достаточно малой, что представляется существенным при измерении слабых сигналов ИК-излучения.

Для проверки возможной реализации выбранной модели фотоприемника были взяты кремниевые полевые транзисторы (КП103 и КП303), выводы затвора у которых предварительно отрезались. На рис. 2 показана типичная для серии КП303 зависимость темнового то-

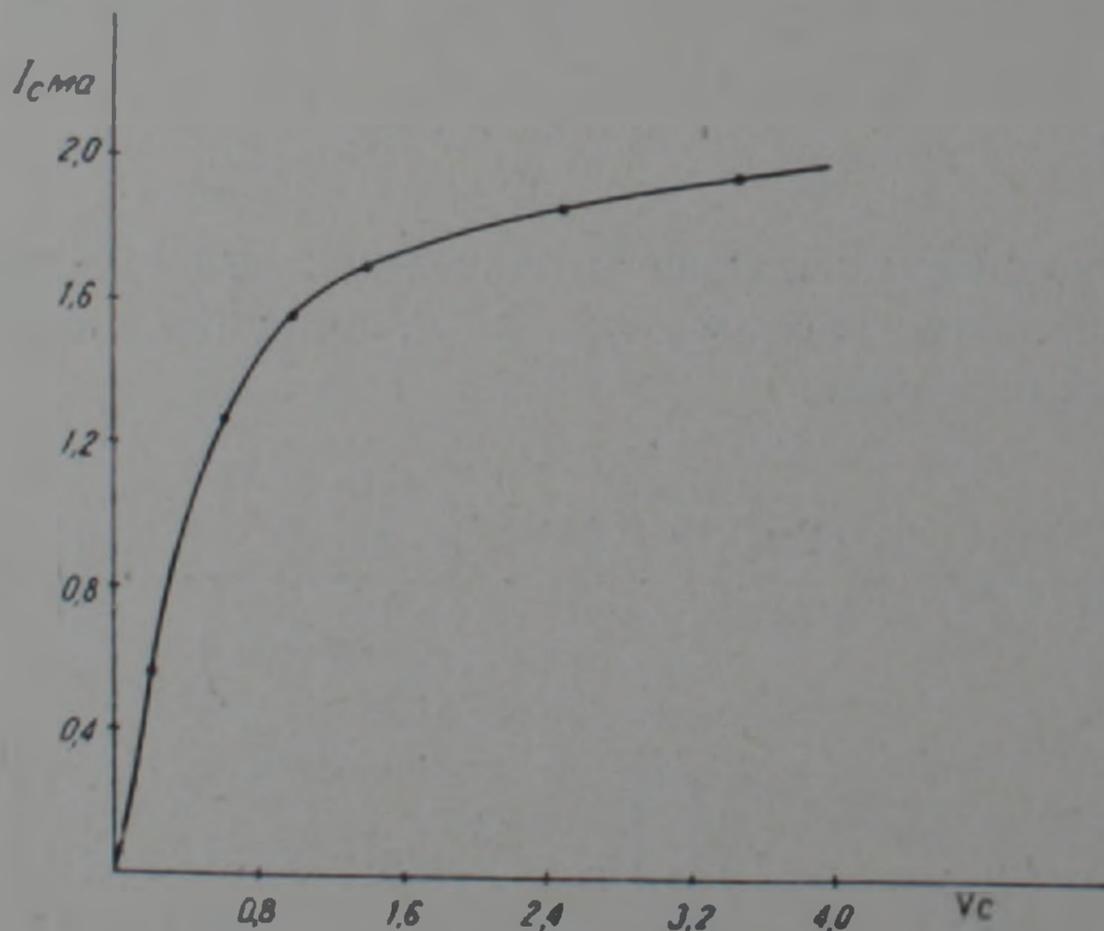


Рис. 2. Зависимость темнового тока I_c от напряжения V_c

ка I_c от напряжения V_c (вывод к затвору отсутствовал). Нами были сняты также зависимости I_c от V_c при различных мощностях падающего излучения. Фиксируя на семействе таких кривых V_c и взяв разность между значениями токов при определенной мощности падающего излучения и темновым, определяли величину фототока ($I_{фс} = I_c^{(св)} - I_c$). Отношение последнего к мощности падающего излучения характеризует чувствительность (a/vm) при фиксированном V_c .

На рис. 3 показана зависимость тока $I_{фс}$ от напряжения V_c при различных значениях мощности падающего излучения.

Сравнивая рис. 2 и 3, видим, что с ростом V_c при фиксирован-

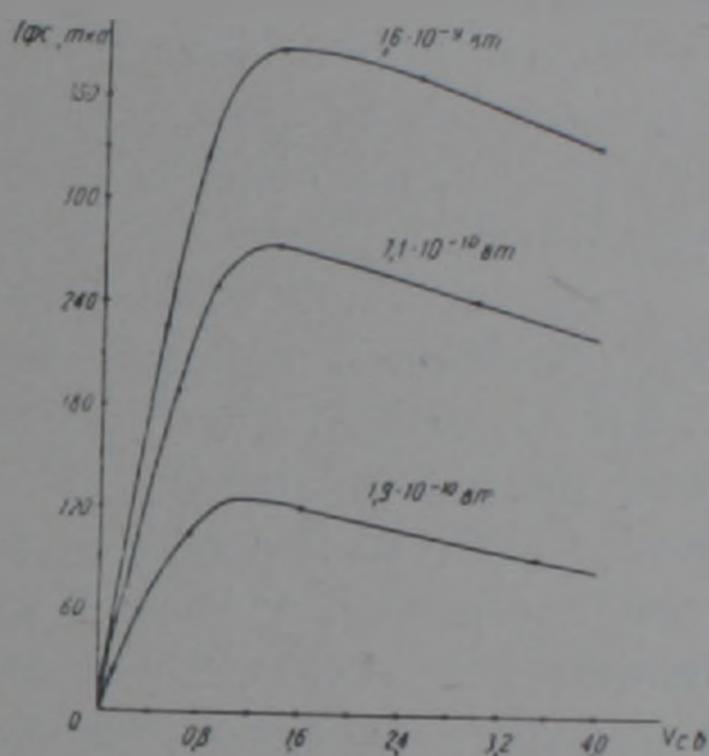


Рис. 3. Зависимость фототока $I_{фс}$ от напряжения V_c при различных значениях мощности падающего излучения

ном P имеет место рост фототока до значения V_c , при котором канал перекрывается ($V_c = 1,2в$). При дальнейшем росте напряжения V_c наблюдается постепенное уменьшение $I_{фс}$.

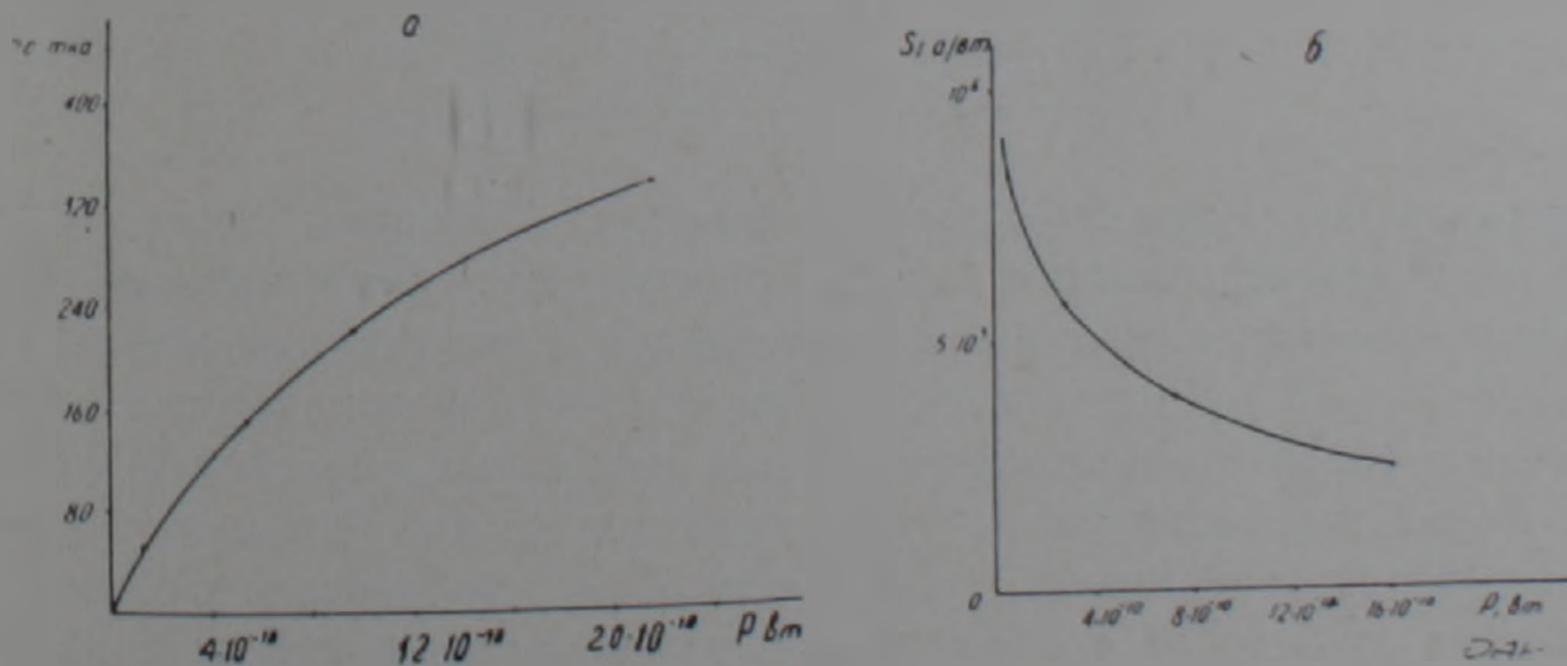


Рис. 4. Зависимость фототока $I_{фс}$ (а) и чувствительности S_1 (б) от мощности падающего излучения при $V_c = 1,2в$

На рис. 4,а приведена зависимость фототока $I_{фс}$ от мощности падающего излучения.

Зависимость чувствительности в $(a/vт)$ от мощности падающего излучения для фиксированного значения $V_c \sim 1,2$ в показана на рис. 4.б. Измерения проводили при $T=300^\circ K$. В качестве источников ИК-излучения применяли калиброванные светодиоды АЛ107А, имеющие длину волны излучения от 0,9 до 1,2 мкм.

Полученные значения чувствительности $S_I \sim 10^5 a/vт$ представляются настолько необычными, что аналогичным методом нами проводились также измерения чувствительности фотодиодов ФД-27К. Измеренные при этом значения чувствительности соответствовали паспортным данным. Кроме того, вольтметром Ф-30 с входным сопротивлением ≥ 500 МОм измеряли значения $\Delta\varphi$ между затвором и истоком при определенных значениях V_c и падающей мощности. Значения $\Delta\varphi$ были примерно равны расчетным. Посредством модуляционного ИК-радиометра проводили также измерения эквивалентной мощности шумов $P_{эkv}$ при $T=300^\circ K$. Постоянная времени фотоответа при малых мощностях падающего излучения $\tau \geq 5 \cdot 10^{-2}$ сек, поэтому частота модуляции сигнала выбиралась достаточно низкой ($f=18$ Гц). На темновой ВАХ был выбран режим максимальной фоточувствительности (на рис. 3 этому условию соответствует $V_c=1,2$ в). По записи выходного сигнала ИК-радиометра на электронном самопишущем приборе КСП-4 при известной мощности падающего на поверхность фотоприемника излучения с учетом постоянной времени радиометра были определены $P_{эkv}$ и обнаружительная способность D^* .

В таблице приведены некоторые значения $P_{эkv}$ и D^* . Полученные данные свидетельствуют о возможности создания высокочувстви-

Таблица 1

Тип транзистора	$P_{эkv}$ вт/Гц ^{1/2}	D^* см/Гц ^{1/2} вт ⁻¹
КП 103	$148 \cdot 10^{-14}$	$1,2 \cdot 10^{12}$
КП 303А	$1,4 \cdot 10^{-14}$	$1,1 \cdot 10^{12}$
КП 303В	$3,9 \cdot 10^{-14}$	$(4-7) \cdot 10^{11}$
КП 303Б	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$9 \cdot 10^{11}$

тельных радиометров ИК-диапазона для широкого применения в астрофизике и других областях науки и техники. Если же в качестве полупроводникового материала в приведенной структуре применить Ge, InSb, InAs, CdHgTe и т. д., то можно получить фотоприемные устройства с высокой чувствительностью для различных областей ИК-спектра. Кроме того, если учесть то обстоятельство, что большинство полевых транзисторов имеют гребенчатую структуру (число пребенков колеблется от 3 до 30 в одном ряду), то возможна разработка на этой основе цифрового измерителя малых перемещений с очень высоким разрешением.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Ինֆրակարմիր տիրույթի ճառագայթման ընդունիչներ անոմալ բարձր զգայունությամբ

Դիտարկված է կիսահաղորդչային ֆոտոընդունիչը, որն իրենից ներկայացնում է Բ-Ո անցում ունեցող դաշտային տրիոդի ստրուկտուրան, ըստ որում նրա էլեկտրոդներից փականքը շունի արտաքին միացում:

Ինչպես ցույց է տրված տեսական գնահատականի հաշվարկում, այդպիսի ստրուկտուրան ապահովում է բացառիկ մեծ զգայունություն ընկնող ինֆրակարմիր ճառագայթման նկատմամբ և օժտված է փոքր աղմկային հատկությամբ:

Կատարված է տեսական դրույթների փորձարարական ստուգումը, որը տալիս է զգայունության տեսական գնահատականի և փորձնականորեն ըստացված արժեքի բավարար համընկնում:

Չափված են վերը նշված ձևով միացված հայրենական արտադրության մի շարք դաշտային տրիոդների (КП 103, КП 303 սերիաներից)՝ որպես ինֆրակարմիր ճառագայթման ընդունիչների պարամետրերը ($P_{համ} = (1,6 - 3,9)10^{-14}$ վտ/հց, $D^* = 9 \cdot 10^{11} - 1,2 \cdot 10^{12}$ սմ հց^{1/2}/վտ):

Ստացված տվյալները ապացուցում են, որ նշված ստրուկտուրայով ինֆրակարմիր ճառագայթման ընդունիչները մեծ հաջողությամբ կարող են օգտագործվել աստղա-ֆիզիկայում և գիտության այլ բնագավառներում, որտեղ անհրաժեշտ է չափել ճառագայթման հզորության արտակարգ ցածր մակարդակներ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. А. Амброзяк, «Сов. радио», М., 1970. ² С. М. Зи. Физика полупроводниковых приборов, «Энергия», М., 1973. ³ Н. А. Соболева, А. Е. Меламид, Фотоэлектрические приборы, Высш школа, М., 1974.