

Л и т е р а т у р а

1. Овсяк В. Н., Курьшев Г. Л., Сидоров Ю. Г. и др. Матричные фотоприемные устройства инфракрасного диапазона. — Новосибирск: Наука. 2001. — 376 с.
2. Рогальский А. Инфракрасные детекторы: Пер. с англ./ Под ред. А. В. Войцеховского. — Новосибирск: Наука, 2003. — 636 с.
3. Ryssel H., Lang G., Biersack J. P., Muller K., Kruger W.// IEEE Transaction on electron devices. 1980. V. ED-27. № 1. P. 58—62.
4. Сидоров Ю. Г., Дворецкий С. А., Михайлов Н. Н., Якушев М. В., Варавин В. С., Васильев В. В., Сусяков А. О., Овсяк В. Н.// Прикладная физика. 2000. № 5. С. 108—114.
5. Войцеховский А. В., Коханенко А. П.// Изв. вузов. Физика. 1998. Т. 41. № 8. С. 44—49.
6. Войцеховский А. В., Денисов Ю. А., Коханенко А. П., Варавин В. С., Дворецкий С. А., Михайлов Н. Н., Сидоров Ю. Г., Якушев Н. В.// Автометрия. — Новосибирск: Изд. СО РАН, 1998. № 4. С. 47—58.
7. Войцеховский А. В., Григорьев Д. В., Коротаев А. Г., Коханенко А. П., Леонтьев Д. В., Кульчицкий Н. А.// Изв. вузов. Материалы электронной техники. 2004. Вып. 2. С. 60—65.
8. Voitsekhovskii A. V., Broudnyi V. N., Lilenko Yu. V., Krivov M. A., Petrov A. S.// International Journal "Solid State Communications". 1979. V. 31. № 26. P. 105—108.
9. Voitsekhovskii A. V., Lilenko Yu. V., Kokhanenko A. P., Petrov A. S.// Gordon and Breach Science Publishers Inc., Great Britain "Radiation Effects". 1982. V. 66. № 1—2. P. 7984.
10. Козырев С. П., Водопьянов Л. К.// ФТП. 1983. Т. 17. Вып. 5. С. 893—899.
11. Bahir C., Kalish R.// J. Appl. Phys. 1983. V. 54. № 6. P. 3129—3140.
12. Destafanis G. L.// Nucl. Instr. Meth. 1983. V. 209/210. P. 567—580.
13. Bubulac L. O., Tennant W. E., Shin S. H., Wang C. C., Lanir M., Gerther E. R., Marshal E. D.// Japan Appl. Phys. 1980. V. 19. Suppl. 19-1. P. 495—500.
14. Войцеховский А. В., Коханенко А. П.// Изв. вузов. Физика. 1998. № 1. С. 101—116.
15. Пат. 2035801 РФ, С1, 6 Н 01 L 21/265/ Мищенко А. М., Талипов Н. Х., Шашкин В. В. 1995.
16. Пат. 2023326 РФ, С1, 5 Н 01 L 21/425/ Мищенко А. М., Талипов Н. Х., Шашкин В. В. 1994.
17. Vlasov A. P., Sokolovskii B. S., Monastyrskii L. S., Bonchuk O. Yu., Barcz F.// Thin Solid Films. 2004. V. 459. P. 28—31.
18. Brudnyi V. N., Grinyaev S. N., Stepanov V. E.// Physica B: Cond. Matter. 1995. V. 212. P. 429—435.
19. Брудный В. Н., Гриняев С. Н.// ФТП. 2001. Т. 35. Вып. 7. С. 819—822.

Статья поступила в редакцию 15 марта 2007 г.

The boron implantation in the graded-gap MBE MCT epilayer

A. V. Voitsekhovskiy, D. V. Grigor'ev, A. G. Korotaev, A. P. Kokhanenko
Siberian Physical-Technical Institute, Tomsk, Russia

V. S. Varavin, S. A. Dvoretzky, Yu. G. Sidorov, N. N. Mikhailov
Institute of Semiconductors Physics, Novosibirsk, Russia

T. Kh. Talipov
ООО "Almazinvest", Moscow, Russia

In the paper experimental results on boron implantation of the $Cd_xHg_{1-x}Te$ epilayers with various composition near surface of the material are discussed. The electron concentration in the surface layer after irradiation vs irradiation dose and ion energy are investigated for range of doses 10^{11} — $3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ and energies of 20—150 keV. Also the results of the electrical active defects distribution measurement, carried out by differential Hall method, after boron implantation are represented. Consideration of the received data shows, that composition gradient influence mainly on the various dynamics of accumulation of electric active radiation defects. The electric active defects distribution analysis shows, that the other factors are negligible.

УДК 621.383.4/5:621.375

Фотоприемное устройство с радиационно-охлаждаемым длинноволновым фоторезистором из КРТ

И. Д. Бурлаков, Г. Э. Поповян, Ю. С. Трошкин, Ю. П. Шаронов
ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Приведены результаты разработки фотоприемного устройства с радиационно-охлаждаемым фоторезистором из КРТ на спектральный диапазон 2—16 мкм, работающим при температурах от 80 до 100 К, которое предназначено для комплектации Фурье-спектрометра ИКФС-2, используемого для исследований спектра излучения Земли. Удельная обнаружительная способность прибора $D^*(\lambda_{\max} 10 \text{ кГц}, 1) = (5\text{—}6) \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

© Бурлаков И. Д., Поговая Г. Э., Грошкин Ю. С., Шаронов Ю. П., 2007

Разработанное фотоприемное устройство (ФПУ) предназначено для установки в ИК-Фурье-спектрометр ИКФС-2, используемый для исследования излучения Земли в области спектра 2—16 мкм.

ФПУ состоит из длинноволнового фоторезистора (ФР) с размером чувствительной площадки 2×2 мм, конструкция которого предусматривает его монтаж на хладопровод радиационного охладителя, и малощумящего предварительного усилителя (ПУ), соединенных экранированным кабелем с малой теплопроводностью.

Держатель фоторезистора изготовлен из меди, имеющей высокую теплопроводность, и для защиты от внешних воздействий покрыт никелем. К торцу держателя высокотемпературным серебряным припоем в вакууме припаян коваровый вкладыш, служащий для монтажа на него блока фоточувствительного элемента (ФЧЭ) из КРТ. Фланец держателя диаметром 34 мм служит для крепления фоторезистора к холодильнику. Рабочий объем ФР герметично закрыт коваровым колпаком диаметром 11 мм с вклеенным в него криостойким клеем ХСКН входным окном из ZnSe и заполнен осушенным азотом. Общая высота ФР составляет 20 мм. Апертурный угол фоторезистора, равный 65°, формируется черненной коваровой диафрагмой, охлаждаемой вместе с корпусом ФР.

Предварительный усилитель собран по 2-каскадной схеме на операционных усилителях (ОУ) AD829SQ в керамических корпусах и с малыми входными шумами (1,7 нВ/Гц^{1/2}). Питание ОУ ±9 В подается со стабилизатора напряжения 142ЕН6А, запитываемого от внешнего источника ±15 В. Смещение на ФР подается со стабилизатора СМ2 разработки ФГУП «НПО "Орион"» с выходными шумами 1,5 нВ/Гц^{1/2}. Корпус ПУ стальной с габаритами 60×60×60 мм и толщиной стенок 1 мм.

Исходный полупроводниковый материал КРТ с длинноволновой границей фоточувствительности по уровню 0,1 не менее 17 мкм необходимо было специально отбирать*, так как выпускаемый по техническим условиям материал КРТ предназначен для изготовления фотоприемников с чувствительностью до 12—12,5 мкм. При рабочей температуре 78 К ширина запрещенной зоны в этих образцах *n*-типа проводимости составляла ~0,07 эВ, концентрация основных носителей (3—5)·10¹⁴ см⁻³, их подвижность (2—4)·10⁵ см²·В/с.

* Образцы необходимого материала были любезно отобраны во ФГУП «ГИРЕДМЕТ» А. А. Шленским.

Для повышения уровня напряжения сигнала и шума в целях их регистрации без потерь при дальнейшей обработке в электронном тракте ФПУ сопротивление ФЧЭ увеличено до ~300 Ом за счет выполнения фоточувствительной площадки в виде «змейки».

Частотный диапазон ФПУ формируется предварительным усилителем (ПУ) и в соответствии с условиями эксплуатации ФПУ в аппаратуре составляет 3—18 кГц по уровню 0,7. Поскольку измерения спектральных характеристик фоточувствительности и фотоэлектрических параметров проводятся на частотах модуляции 40 и 1200 Гц, соответственно, т. е. за пределами полосы пропускания ПУ, то эти измерения выполнялись автономно на ФР.

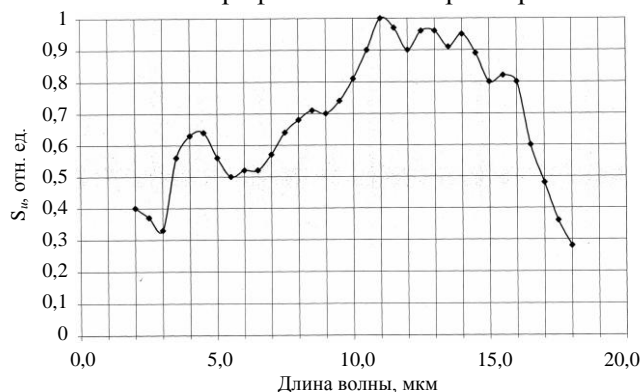
При измерениях в диапазоне рабочих температур от 80 до 100 К использовался специально разработанный металлический вакуумный криостат с входным окном из непросветленного германия, в который устанавливался фоторезистор.

Спектральная характеристика фоточувствительности при рабочей температуре 80 К представлена на рисунке, *a*, из которого видно, что характеристика имеет широкий максимум — 11—14 мкм и длинноволновую границу 17 мкм по уровню 0,5. Повышение рабочей температуры до 100 К, как показано на рисунке, *б*, приводит к сдвигу длинноволнового края спектральной характеристики влево приблизительно на 1,3 мкм. Как известно, длинноволновый край чувствительности определяется шириной запрещенной зоны полупроводника. В материале КРТ изменение ширины запрещенной зоны (ΔE) зависит от температуры *T* как: $\Delta E = 5,2 \cdot 10^{-4} T (1 - 2,08 x)$, где *x* — состав КРТ (в данном случае $x \cong 0,2$). Из этого выражения видно, что изменение температуры на 20 К увеличит ширину запрещенной зоны примерно на 0,006 эВ и, соответственно, длинноволновый край спектральной характеристики должен сдвинуться влево также приблизительно на 1,3 мкм.

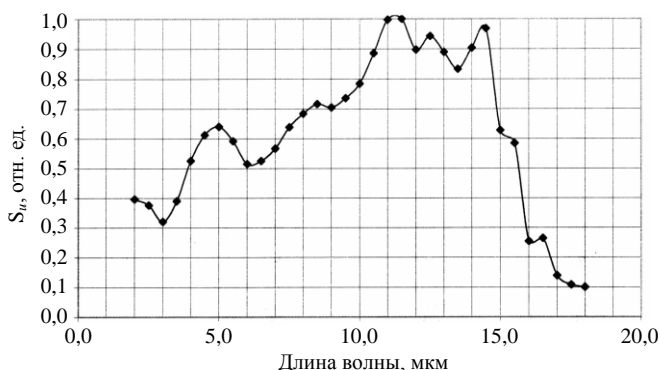
Зависимость фотоэлектрических параметров ФР от температуры также была исследована в диапазоне от 80 до 100 К, и, как видно из результатов измерений, приведенных в табл. 1, удельная обнаружительная способность и вольтовая чувств-

вительность падают с ростом температуры из-за изменения электрофизических параметров мате-

риала КРТ.



а



б

Спектральная характеристика фоточувствительности ФП при рабочей температуре:

а — 80 К; б — 100 К

Таблица 1

Зависимость чувствительности ФП от температуры

T, К	$D^*(\lambda_{\max}, 1200, 1)$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹	$S_u(\lambda_{\max})$, В/Вт ⁻¹
100,0	1,6E+10	3,20E+02
98,0	1,7E+10	3,90E+02
95,5	1,9E+10	4,70E+02
93,0	2,1E+10	5,50E+02
89,2	2,5E+10	7,10E+02
85,5	3,2E+10	8,10E+02
83,0	3,7E+10	9,90E+02
81,5	4,0E+10	1,00E+03
80,0	4,2E+10	1,10E+03

В табл. 2 представлены параметры трех фоторезисторов на частоте модуляции 1,2 кГц, а в табл. 3 — параметры предварительных усилителей для них.

Измеренная частотная зависимость спектральной плотности напряжения шума ФП подчиняется закону $1/f$ до частот в несколько килогерц. На частоте 10 кГц значение $D^*_{\lambda_{\max}}$ приблизительно в 1,5 раза выше, чем на частоте 1,2 кГц.

Основные фотоэлектрические параметры ФПУ, измеренные и рассчитанные с учетом спектральных характеристик ФП, коэффициента усиления ПУ, частотных характеристик спектральной плотности напряжения шума ФП, представлены в табл. 4; значения $D^*_{\lambda_{\max}}$ даны для частоты 10 кГц.

Таблица 2

Фотоэлектрические параметры ФП

Номер ФП	$D^*_{\lambda_{\max}} \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹		$S_u(\lambda_{\max})$, В/Вт	
	80 К	100 К	80 К	100 К
3	3,5	1,1	680	204
4	3,3	1,0	770	200
5	4,2	1,6	1100	320

Таблица 3

Параметры ПУ

Номер ПУ	K_y	f_n , кГц	f_b , кГц	U_{noise} , мВ
3	1430	3,0	22,0	0,45
4	1240	3,0	20,0	0,4
5	1250	3,0	18,0	0,5

Таблица 4

Фотоэлектрические параметры ФПУ

Номер ФПУ	$D^*_{\lambda_{\max}} \cdot 10^{10}$, см·Гц ^{1/2} ·Вт ⁻¹		$S_u(\lambda_{\max}) \cdot 10^3$, В/Вт		λ_{\max} , мкм	$\lambda_{0,5}$, мкм	$U_{noise ex}$, мВ
	80 К	100 К	80 К	100 К			
3	5,2	1,6	972	292	11—14,5	17,5	1,0
4	4,9	1,5	955	248	13—14,5	17,5	1,2

5	6,3	2,4	1375	400	12,5—14	16,5	1,2
---	-----	-----	------	-----	---------	------	-----

Качество исходного материала КРТ, технология и топология ФЧЭ позволили реализовать указанные параметры при малых токах смещения на

фоторезисторе и таким образом обеспечить тепловыделения ФЧЭ не более 20 мВт, что существенно при использовании радиационного охладителя.

Статья поступила в редакцию 15 марта 2007 г.

The photodetective assembly with radiative cooling LWIR MCT photoresistor

I. D. Burlakov, G. T. Popovyan, Y. S. Troshkin, Y. P. Sharonov
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

The results of development of photodetective assembly with radiative cooling LWIR MCT photoresistor for spectral range 2—16 μm , working at temperature interval 80—100 K, are given. The photodetective assembly intends for IR Fourier-Spectrometr IRFS-2, using for spectral analysis of the Earth radiation in range 2—16 μm . PA at temperature 80 K have in maximum spectral response (14 μm) the specific detectivity $D^(\lambda_{\text{max}} 10 \text{ кГц}, 1) = (3—4) \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вм}^{-1}$.*

УДК 621.315.592

Расчет фоточувствительности пористого кремния для оптоэлектронных устройств

Л. С. Монастырский, Б. С. Соколовский
Львовский национальный университет им. Ивана Франко, г. Львов, Украина

Представлена новая теоретическая модель фоточувствительности пористого кремния, в которой учитывается рекомбинация фотоносителей на поверхности сферических пор. В предположении однородной генерации фотоносителей и диффузионного характера их движения получена формула для фотопроводимости пористого полупроводника. Показано, что фоточувствительность пористого кремния сильно зависит от скорости рекомбинации фотоносителей на поверхности пор, их радиуса и среднего расстояния между порами.

В настоящее время пористый кремний прочно входит в арсенал перспективных и активно разрабатываемых материалов оптоэлектроники, что связано с возможностью создания на его основе светоизлучающих и фоточувствительных структур [1—5]. Наряду с применением фотовольтаического способа регистрации излучения пористым кремнием [6—9] значительный интерес представляют фоточувствительные структуры из пористого кремния, основанные на изменении фотопроводимости под воздействием внешних факторов, например различных газовых сред. Такие структуры могут использоваться как эффективные газовые сенсоры [8, 9]. Для прогнозирования параметров таких сенсоров необходимо знать зависимость фо-

топроводимости пористого кремния от состояния поверхности, изменяющейся под воздействием газовой среды, а также степени пористости материала. В данной работе предложена феноменологическая модель фотопроводимости пористого кремния, в которой учитываются рекомбинационные потери фотоносителей на разветвленной внутренней поверхности пористого кремния с макроскопическими размерами пор.

Математическая постановка задачи

Рассмотрим модель полупроводника для конкретности p -типа проводимости, в котором равномерно распределены сферические поры радиуса r_0 .