



ОХЛАЖДАЕМЫЕ МОНОЛИТНО ВЫПОЛНЕННЫЕ МАТРИЦЫ ИК-ДИАПАЗОНА ПРИМЕНЕНИЕ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В.Карпов, к.ф.-м.н., А.Лыткин, В.Петренко, к.т.н.,
В.Семенов, к.т.н.; К.Чиж,
ОАО "Московский завод "САПФИР"
www.mzsaphir.ru, saphir@hotbox.ru, Москва

Для работы в спектральном диапазоне 1,5–5,5 мкм широко используются фотонные охлаждаемые матричные приемники излучения. В ИК-микрофотозлектронных технологиях параллельно используются два типа конструкций фотоприемных матриц – монолитный и гибридный. В статье приведены результаты климатических испытаний изделий, что дает основание сделать выбор в пользу монолитно-выполненной конструкции.

В монолитной конструкции на одном кристалле формируют фоточувствительные площадки и схемы считывания. В гибридной конструкции фоточувствительные площадки располагаются на одном кристалле, а схема считывания – на втором кристалле. Затем эти кристаллы соединяют между собой с помощью технологии индиевых микростолбиков. У каждой конструкции есть свои преимущества в использовании.

Охлаждаемые монолитно выполненные матрицы ИК-диапазона на основе барьеров Шоттки из PtSi/Si привлекают к себе внимание разработчиков серийных тепловизионных приборов благодаря малой неоднородности чувствительности по площади. Неоднородность чувствительности в этих матрицах составляет не более 3%, что во много раз меньше неоднородности чувствительности матриц, выполненных по гибридной технологии. Это объясняется тем, что процессы генерации и рекомбинации носителей происходят не в объеме полупроводника и не в его поверхностном слое, а в тонком слое силицида платины PtSi, образующего барьер. Поэтому здесь квантовая эффективность не зависит от параметров полупроводника и их разбросов по площади фоточувствительного слоя. В технологии производства

COOLED MONOLITHIC ARRAYS OF INFRA-RED BAND BATCH PRODUCTION APPLICATION

V.Karpov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences; A.Lytkin; V.Petrenko, Candidate of Technical Sciences; V.Semenov, Candidate of Technical Sciences; K. Chizh, SAPFIR Moscow Plant, OJSC, saphir@hotbox.ru, www.mzsaphir.ru, Moscow

Currently, for the operation within the range of 1.5-5.5 μm cooled photon detector arrays are widely used. In IR micro-photoelectronic technologies the photodetecting array constructions of two types – monolithic and hybrid – are developed. The results of environmental tests products give reason to opt for monolithic-made designs.

In the monolithic construction photo-sensitive areas and reading circuits are formed on one crystal. In the hybrid construction photo-sensitive areas are located on one crystal and the reading circuit is located on the second crystal; further, they are joined together with the help of the technology of indium micropillars.

The main parameters of the thermal imagers produced by different firms which use the monolithic arrays of IR band based on PtSi/Si are specified in Table.

Pursuant to the table data, the main parameter of NETD thermal imager is identical for the domestic and foreign firms, and it can be concluded that the technology of such arrays production in Russia can ensure the parameters comparable with the arrays produced in foreign countries.

The following advantages of cooled monolithic arrays based on PtSi/Si Schottky barriers draw attention of the developers of commercially produced thermal imaging devices. Sensitivity inhomogeneity of these arrays is not more than 3% and it is lower than the sensitivity inhomogeneity of the arrays produced on the basis of hybrid technology by many times. This may be due to the fact that the generation and recombination processes of media occur not in the semiconductor volume or its surface layer but



матриц приняты меры по повышению квантовой эффективности. Для этого после формирования барьера Шоттки на тонкую пленку PtSi наносится диэлектрический слой SiO₂, а затем зеркальный слой алюминия. Лицевую сторону, выполненную из Si, покрывает просветляющий слой. Таким образом, получается резонатор между зеркальным и просветляющим слоями. Благодаря многократному отражению в нем падающего излучения, значительно увеличивается квантовая эффективность прибора.

Решающим достоинством технологии производства монокристаллических охлаждаемых ИК-матриц стал тот факт, что для их производства удалось использовать уже имеющуюся серийную технологию. Эта технология была разработана ранее для изготовления кремниевых интегральных схем и приборов с зарядовой связью. Она позволяет получать значительный процент годных матриц, на порядок превышающий выход годных матриц, выпускаемых в гибридной конструкции.

Приведем для сравнения основные параметры тепловизоров (см. таблицу), выпускаемых различными фирмами, в которых используются монокристаллически выполненные матрицы ИК-диапазона на основе PtSi/Si. Как из нее видно, основной параметр тепловизора – разность температур, эквивалентная шуму (NETD), принимает одинаковые значения для отечественных и зарубежных изделий. Можно заключить, что технология создания матриц данного типа в России в состоянии обеспечивать параметры тепловизионных приборов, сравнимые с зарубежными изделиями.

Другим неоспоримым достоинством монокристаллической конструкции является повышенная надежность работы монокристаллически выполненных охлаждаемых матриц по сравнению с аналогичным качеством матриц, выполненных в гибридной конструкции. У вторых при периодических испытаниях, когда изделие захлаживается до температуры 80К за 5 мин, наблюдается нарушение контактных соединений, что увеличивает появление дефектных элементов. Аналогичная картина наблюдается при испытаниях в условиях заданных вибраций и ударов.

Анализ готовой продукции показал, что количество дефектных элементов у монокристаллически выполненных матриц составляет ≈0,02% от общего числа элементов, тогда как у гибридно-выполненных ИК-матриц этот параметр достигает ≈2%.

Не стоит забывать про массогабаритные характеристики. Так, охлаждаемая масса монокристаллически

in the thin layer of platinum silicide PtSi forming the barrier. Therefore, quantum efficiency does not depend on the semiconductor parameters and their scattering on the area of photo-sensitive layer.

Measures for the enhancement of quantum efficiency are taken in the array. Thus, after the formation of Schottky barrier dielectrical layer of SiO₂ is applied on the thin film of PtSi and then aluminum layer is applied. Si front side is coated with the anti-reflective layer. In this manner the resonator between reflective and anti-reflective layers is formed; it considerably increases the quantum efficiency due to the multiple reflection of incident radiation in it.

The fact, that for the production of arrays it is possible to use existing batch technology of production of silicon integrated circuits and devices with the charge coupling which allows obtaining the percentage of "uitable" arrays output considerably (by an order) exceeding the percentage of "suitable" arrays output made on the basis of hybrid construction, is critically important advantage.

Reliability of the operation of monolithic cooled arrays is higher than the reliability of the operation of hybrid arrays, contact coupling of which is interrupted and causes the growth of defective elements upon the periodical chilling down to the temperature of 80K during 5 min. Analogous situation can be observed when operating under the conditions of set vibrations and shocks.

Number of the defective elements in the monolithic arrays is ≈0.02% of the total number of elements, and for the hybrid arrays this parameter is ≈2%.

Chilled mass of the monolithic arrays is three times lower in comparison with the same parameter of the hybrid arrays.

Radiation resistance of silicon structures allows enduring the influence of the special external factors according to GOST RV 20.39.305:

- 7И₁ – 2nd degree of fixity with the coefficient of 10⁻²;
- 7И₆ – 2nd degree of fixity with the coefficient of 10⁻²;
- 7И₇ – 2nd degree of fixity with the coefficient of 10⁻².

Manufacturing cost of the monolithic arrays is considerably lower than manufacturing cost of the hybrid arrays.



Основные параметры выпускаемых тепловизоров

Параметры	ЗАО "Матричные технологии", Россия	ОАО ЦНИИ "Электрон", Россия	ELIR System, США	CSIST, США	Daviol Sarnoff, США	Night Vision Technology, США	Chipper, США	Zeies optronik GmbH, Германия
Марка Brand	ТВП-01	TVC200	Thermo CAM1000	Seagle-1	IRFPA camera	Med Vision	CRT IR-600	ATTICA P256D
Матрица / Array construction material	монокристаллическая PtSi	монокристаллическая PtSi	гибридная PtSi	монокристаллическая PtSi	монокристаллическая PtSi	монокристаллическая PtSi	монокристаллическая PtSi	гибридная PtSi
мультиплексор multiplexor	ПЗС	ПЗС	КМОП	ПЗС	ПЗС	ПЗС	ПЗС	КМОП
формат dimensions	256×256	256×256	256×256	256×244	320×244	320×240	320×240	256×256
Фокусное расстояние объектива, Lens focal distance	50 мм f/1,4	90 мм f/1,1	25 мм f/1,2	100 мм f/1,8	100 мм f/1,4	27,5 мм f/1,8	80 мм f/1,5	50 мм f/1,5
светосила								
Рабочий спектральный диапазон, мкм Operating spectral range, μm	3–5	3,5–5	3,4–5	3,4–5	1–5,5	3–5	3–5	3–5
NETD, К при температуре и светосиле	0,05 300К, f/1,4	<0,07 300К, f/1,1	0,07 300К, f/1,2	0,067 300К, f/1,8	<0,08 300К, f/1,4	<0,07 300К, f/1,8	0,1 300К, f/1,5	0,1 300К, f/1,5
Динамический диапазон, дБ Dynamic range, dB	>50	56	Нет данных	50	>72	>63	>66	Нет данных
Время накопления, мс Accumulation time, ms	40	40	Нет данных	33	Нет данных	Нет данных	Нет данных	20

выполненных матриц в три раза меньше по сравнению с гибридно-выполненными изделиями.

Учитывая, что матрицы используются в аппаратуре, которой предстоит работать в жестких климатических условиях, изделия должны отвечать требованиям специальных внешних воздействующих факторов по ГОСТ РВ 20.39.305. Радиационная стойкость кремниевых структур.

Технология изготовления охлаждаемых гибридных матриц позволяет выдерживать следующие параметры:

- $7И_1$ – степень жесткости II с коэффициентом 10^{-2} ;
- $7И_6$ – степень жесткости II с коэффициентом 10^{-2} ;
- $7И_7$ – степень жесткости II с коэффициентом 10^{-2} .

Specifically for this reason currently SAPFIR Moscow Plant OJSC develops the batch production of cooled photodetecting array (MFPU 2 OM) using the cooled matrix 1204TsM2N4 AEYaR.431150.168 TU commercially produced by Angstrom OJSC on the basis of PtSi/Si Schottky barriers and with CCD signal reading circuit.

This unit is the component of thermal imaging device and intended for the transformation of thermal images formed by the lens into the digital video signal.

The main technical characteristics of MFPU 2 OM unit:

Spectral sensitivity range, μm 3–5;
Array dimensions, elements 256×256;



Не стоит забывать и о стоимости. Ведь стоимость изготовления монолитно-выполненных матриц на порядок меньше стоимости гибридно-выполненных матриц. Именно поэтому ОАО "МЗ "САПФИР" осваивает серийное производство модуля фотоприемного устройства на базе охлаждаемого матричного МФПУ 2 ОМ, использующего серийно выпускаемую предприятием ОАО "Ангстрем" охлаждаемую матрицу 1204ЦМ2Н4 АЕЯР.431150.168 ТУ. Матрица выполнена на основе технологии создания барьеров Шоттки PtSi/Si и снабжена ПЗС-схемой считывания сигнала.

Модуль является составной частью тепловизионного прибора и предназначен для преобразования тепловых изображений, формируемых объективом, в цифровой видеосигнал.

Основные технические характеристики модуля МФПУ 2 ОМ:

Область спектральной чувствительности, мкм .. 3-5;
Формат матрицы, элементов.....256×256;
Размер фоточувствительного

Поля матрицы, мм 9,2×6,9;

Шаг фоточувствительных элементов, мкм..... 36×27;

Рабочая температура матрицы, К 78-80;

Пороговая облученность

(при уровне фона $1 \cdot 10^{-4}$ Вт/см²), Вт/см²..... $\leq 2 \cdot 10^{-7}$;

Количество единичных дефектов:

в центральной части поля (10%)..... 0,

в 30%-й зоне не более 15,

в 60%-й зоне не более 15;

Время накопления, мс 40;

Частота вывода информации, МГц 2,5;

Динамический диапазон, дБ..... ≥ 50 ;

Выходной сигнал параллельный

десятиразрядный двоичный код;

Охлаждаемая масса, г 5,7;

Напряжения питания, В 15,0 и 5,0;

Потребляемая мощность, Вт ≤ 3 ;

Масса, кг $\leq 0,75$;

Габариты, мм 120×95×85.

Основное применение модуля МФПУ 2 ОМ по условиям эксплуатации - группа 5В ГОСТ В 20.39.404; климатическое исполнение УХЛ.

Результаты использования серийно выпускаемой монолитно выполненной матрицы 1204ЦМ2Н4 АЕЯР.431150.168 ТУ на основе барьеров Шоттки из PtSi/Si в ОАО "МЗ "САПФИР" в последние годы показали, что для охлаждаемых ИК-приемников технология монолитных кремниевых структур является предпочтительной, и перспективы дальнейшего использования этого направления еще не исчерпаны. ■

Dimensions of array photo-sensitive field, mm ... 9.2×6.9;

Step of photo-sensitive elements, μm 36×27;

Array operating temperature, K 78-80;

Threshold irradiance

(when background level is $1 \cdot 10^{-4}$ W/cm²), W/cm²... $\leq 2 \cdot 10^{-7}$;

Number of sporadic defects:

In the central part of the field (10%)..... 0;

In 30% zone, not more than 15;

In 60% zone, not more than 15;

Accumulation time, ms.....40;

Frequency of data output, MHz.....2.5;

Dynamic range, dB..... ≥ 50 ;

Output signal parallel ten-digit binary code;

Cooled mass, g 5.7;

Supply voltage, V 15.0 and 5.0;

Power consumption, W ≤ 3 ;

Weight, kg ≤ 0.75 ;

Overall dimensions, mm 120×95×85.

The main application of MFPU 2 OM unit according to the service conditions refers to the group 5V on the basis of GOST V 20.39.404; climatic category - temperate frigid climate.

Over the recent years, results of the use of commercially produced monolithic array 1204TsM2N4 AEYaR.431150.168 TU based on PtSi/Si Schottky barriers in SAPPFIR Moscow Plant OJSC have shown that the technology of monolithic silicon structures is preferable for the cooled IR photodetectors, and prospects of the future use in this area have not been exhausted yet. ■

XXV ЮБИЛЕЙНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

"ЛАЗЕРЫ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ, МЕДИЦИНЕ"

Туапсе, Россия 11-15 сентября, 2014

- лазерные информационные системы;
- фемтосекундные лазерные системы;
- биомедицинские применения лазеров;
- лазерные оптико-электронные системы;
- терагерцовые системы;
- лазерная диагностика сред;
- высокомоштные технологические лазеры и их применение;
- функциональные материалы для лазерной техники.

Последний срок подачи тезисов - 1 августа 2014 года.

Официальные языки конференции - русский и английский. Электронная почта для заявок и текстов докладов: mntores@mail.ru. Текущая информация о конференции на сайте www.mntores.inlife.ru.