

УДК 621.384.3/5

Исследование пространственного распределения спектральной фоточувствительности матричных фотоприёмных устройств из КРТ

Р. В. Давлетшин, П. С. Лазарев, А. В. Никонов, М. Д. Корнеева

В ходе исследования были сняты спектральные характеристики всех элементов матричного фотоприёмного устройства (МФПУ). Были обнаружены различия в принимаемых спектрах соседних элементов. Найдены закономерности в изменении правой границы спектральной чувствительности. Исследование позволит увеличить точность у разрабатываемых и изготавливаемых МФПУ.

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw, 42.25.Gy, 78.20.Ci

Ключевые слова: матричные фотоприёмные устройства, спектральная характеристика, Фурье-преобразование.

Введение

Одним из ключевых параметров фотоприёмных элементов, входящих в состав фоточувствительных матриц различных типов, является их спектральная характеристика [1, 2]. Из спектральной характеристики разработчики фотоприёмных устройств получают значения диапазона чувствительности, положение максимума чувствительности, коэффициенты использования.

При разработке крупноформатных смотрящих матричных фотоприёмных устройств (МФПУ) важным требованием к фоточувствительным элементам является малый разброс значений оптических характеристик. Целью данного исследования является анализ спектральных характеристик фоточувствительных элементов МФПУ различных форматов ИК-спектрального диапазона.

Измерение спектральных характеристик фотоприёмных устройств

Наиболее распространённой методикой исследования спектральных характеристик фотопри-

ёмных устройств является Фурье-спектрометрия [3, 4]. Данная методика основана на использовании явления интерференции, что обуславливает высокую точность определения волновых чисел, высокое разрешение, и почти полное отсутствие рассеянного света.

Принцип действия Фурье-спектрометра основан на том, что каждой длине волны соответствует определённая интерференционная кривая, получаемая в интерферометре при перемещении подвижного зеркала [5]. Разности хода, при которых достигаются максимум и минимум интенсивности, описываются выражениями:

$$\Delta L_{\max} = L_2 - L_1 = k\lambda,$$

$$\Delta L_{\min} = L_2 - L_1 = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где k — целое число, L_2 и L_1 — оптические пути двух когерентных лучей, λ — длина волны излучения, а ΔL — их разность хода.

В случае использования двух когерентных монохроматических волн E_1 и E_2 :

$$E_1(r, t) = E_{10} \cdot \exp(i(\omega t + k_1 r_1 + \varphi_1))$$

$$E_2(r, t) = E_{20} \cdot \exp(i(\omega t + k_2 r_2 + \varphi_2)),$$

где E_{10} и E_{20} — амплитуды двух волн, ω — круговая частота, $\varphi_{1,2}$ — начальные фазы колебаний, $k_{1,2}$ — волновые числа, можно найти выражение для интенсивности интерференционной картины I :

$$I(x) = EE^* = E_1 E_1^* + E_1 E_2^* + E_2 E_1^* + E_2 E_2^* = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10} E_{20} \cdot \cos((k_{1x} - k_{2x})x + \varphi_1 - \varphi_2).$$

Давлетшин Ренат Валиевич, инженер¹, студент².
Лазарев Павел Сергеевич, ведущий инженер¹, ассистент².
Никонов Антон Викторович, ведущий инженер¹,
зам. зав. кафедрой².

Корнеева Марина Дамировна, временный ген. директор¹.
¹ АО «НПО «Орион».

Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.
Тел. (499) 374-81-30. E-mail: orion@orion-ir.ru

² Московский физико-технический институт
(государственный университет).

Россия, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный,
Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 8 июля 2016 г.

Таким образом, картина, наблюдаемая в спектрометре, в результате интерференции представляет собой чередование тёмных и светлых полос.

Источником излучения служил карбидокремниевый глобар [6], который располагался в фокальной плоскости параболического зеркала, которое формировало плоскопараллельный поток излучения от глобара и направляло его на полупрозрачное разделительное зеркало для формирования двух потоков излучения для получения в

дальнейшем интерференционной картины. Разность хода двух когерентных лучей ΔL возникает из-за смещения одного из зеркал.

Каждой излученной длине волны глобара соответствует собственная интерференционная кривая. Это следует из формул разностей хода двух когерентных лучей для максимума и минимума интенсивности. Полученный сигнал является суммой всех интерференционных кривых (см. рис. 1).

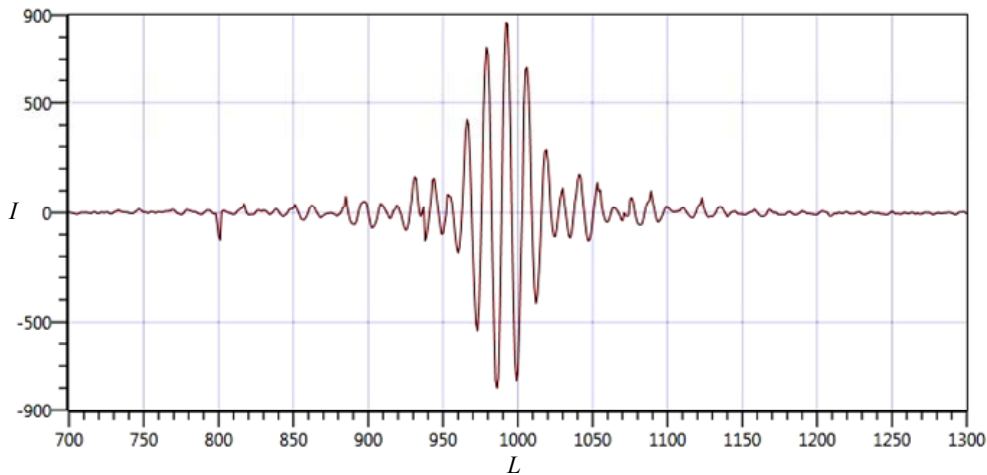


Рис. 1. Интерферограмма фоточувствительного элемента.

Обратный Фурье-анализ [7, 8] позволяет представить сигнал в виде длин волн его составляющих. Функция $F(x)$ по теореме Фурье может быть представлена в следующем виде:

$$F(x) = \int_0^{\infty} A(\xi) \cdot e^{-i2\pi\xi x} dx.$$

Из данного представления рассчитывается значение спектральной характеристики:

$$B(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \left(I_R(\delta) - \frac{1}{2} I_R(0) \right) \cdot e^{-i2\pi\nu\delta} d\delta,$$

где $\nu = 2\pi/\lambda$ это волновое число, а δ — разность хода.

После применения преобразования Фурье к сигналу формируется распределение спектральной чувствительности для выбранного фоточувствительного элемента. Пример спектральной характеристики чувствительности для одного из фоточувствительных элементов показан на рис. 2. Исследование проводится для всех элементов фоточувствительной матрицы и по результатам анализа полученных спектральных характеристик формируются зависимости оптических параметров всех элементов в матрице.

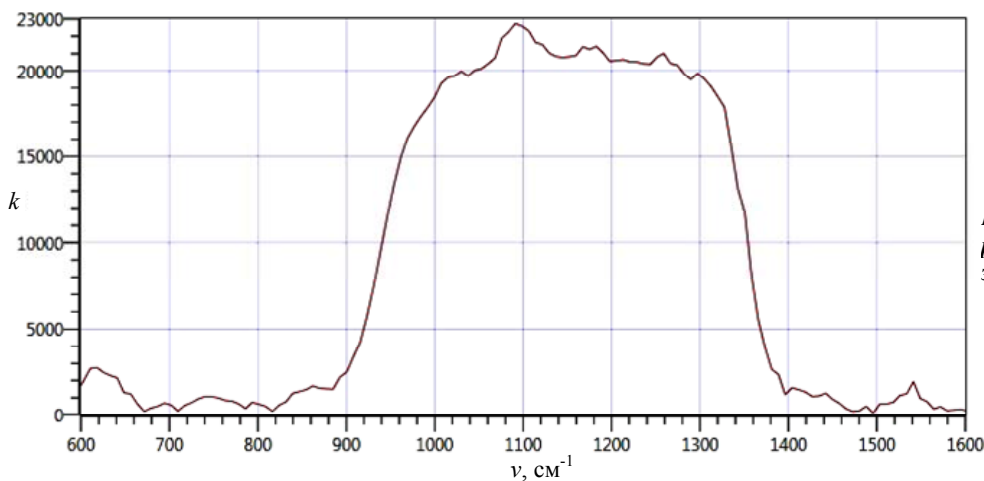


Рис. 2. Спектральная характеристика фоточувствительного элемента.

Результаты

Объектом данного исследования являлся экспериментальный образец матрицы 6×576 элементов на спектральный диапазон 8–12 мкм на основе гетероэпитаксиальной структуры CdHgTe, выращенной методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Измерение спектральных характеристик

чувствительности ФЧЭ проводилось на ИК-Фурье-спектрофотометре Vertex 70. На рис. 3 представлены зависимости границ чувствительности и положения максимума спектральных характеристик чувствительности от порядкового номера элемента. Более наглядное представление длинноволновой границы чувствительности показано на рис. 4.

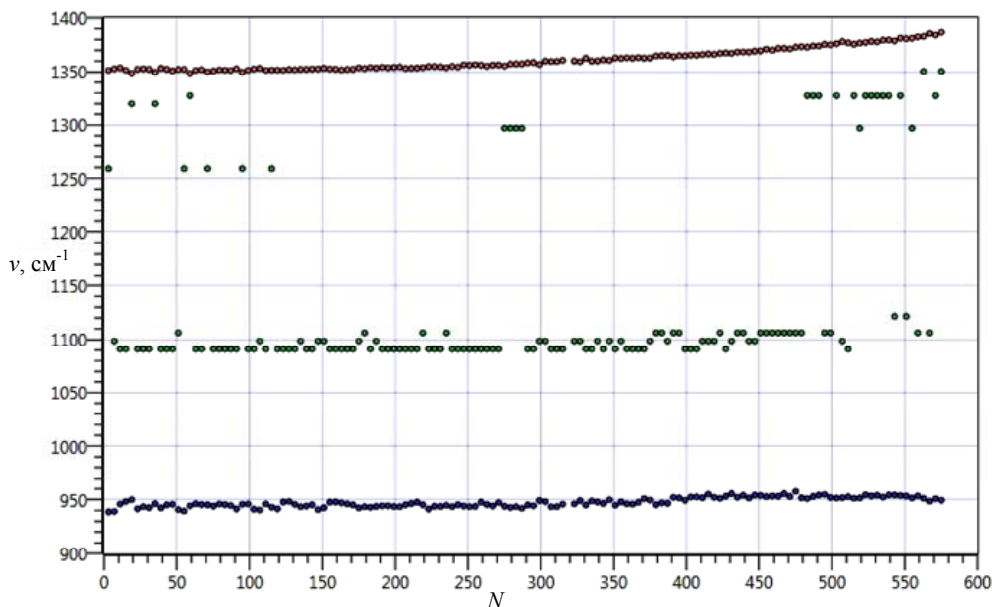


Рис. 3. Зависимость правой, левой границ и максимума спектральной чувствительности от порядкового номера элемента N .

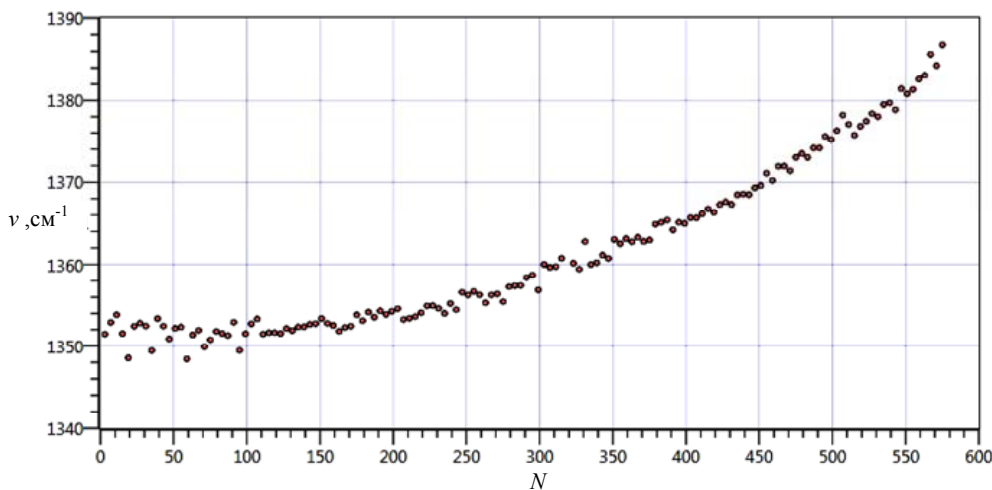


Рис. 4. Зависимость правой границы спектральной чувствительности от порядкового номера элемента N .

Полученные зависимости показывают, что значения коротковолновой границы чувствительности практически не зависят от порядкового номера элемента и обуславливаются установленным оптическим фильтром. Разброс значений длинноволновой границы в зависимости от порядкового номера элемента составляет 1,46 % по волновым числам, что, в свою очередь, соответствует значениям состава рабочего фоточувствительного слоя КРТ ($x = 0,221 \pm 0,003$ мол. дол). Кроме того, такой разброс зависит от неравномерности толщины эпитаксиальной пластины и ряда других факторов.

Для более корректной интерпретации результатов требуются дальнейшие детальные исследования, а также необходимо провести изучение аналогичных матричных фотоприемных устройств на предмет наличия данной закономерности.

Разработанная методика исследований имеет ряд неоспоримых преимуществ и является перспективной для её применения в комплексе контроля характеристик многорядных и матричных фотоприемных устройств различных спектральных диапазонов [9, 10].

Заключение

Проведено измерение спектральных характеристик всех фоточувствительных элементов матричного фотоприёмного устройства формата 6×576 элементов спектрального диапазона 8—12 мкм. Проведён анализ зависимостей границ фоточувствительности от порядкового номера элемента. Из разброса значений длинноволновой границы чувствительности рассчитаны значения неоднородности состава в рабочем фоточувствительном слое КРТ.

Разработанная методика является перспективной для её применения в контроле характеристик многорядных и матричных фотоприёмных устройств различных спектральных диапазонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурлаков И. Д., Дирочка А. И., Корнеева М. Д., Пonomarenko В. П., Филачев А. М. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 5. С. 509.
2. Филачев А. М., Таубкин И. И., Тришенков М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Фоторезисторы и фотоприёмные устройства. — М.: Физматкнига, 2012.
3. Белл Р. Дж. Введение в фурье-спектроскопию. — М.: Мир, 1975.
4. Peter Atkins, Julio De Paula. Physical Chemistry, 8th ed. — Oxford: Oxford University Press, 2006.
5. Lindon J. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry, 2nd Ed. — Academic Press, 2010.
6. Ландсберг Г. С. Оптика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
7. Зорич В. А. Математический анализ. — М.: Физматлит, 1984.
8. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2006.
9. Никонов А. В., Болтарь К. О., Яковлева Н. И. // Прикладная физика. 2012. № 3. С. 7.
10. Патрашин А. И., Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Корнеева М. Д., Никонов А. В., Лопухин А. А., Таубкин И. И., Яковлева Н. И. // Прикладная физика. 2013. № 6. С. 5.

Spatial distribution of the FPA spectral response

R. V. Davletshin^{1,2}, P. S. Lazarev^{1,2}, A. V. Nikonov^{1,2}, and M. D. Korneeva¹

¹ Orion R&P Association Inc.
9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

² Moscow Institute of Physics and Technology
9 Institutsky al., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

Received July 8, 2016

Consideration is given to a space distribution of the FPA spectral response in focal plane array. The difference in the spectral characteristics of different photosensitive elements in array was discovered. Analysis of the results shows that there is the upward trend of the right boundary depending on element number. This study can be used for decreasing the measurement error.

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw, 42.25.Gy, 78.20.Ci

Keywords: FPA, spectral response, Fourier transform.

REFERENCES

1. I. D. Burlakov, A. I. Dirochka, M. D. Korneeva, V. P. Ponomarenko, and A. M. Filachev, *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 509 (2014).
2. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid-state Photoelectronics. Photoresistors and Photodetectors* (Fizmatkniга, Moscow, 2012) [in Russian].
3. R. J. Bell, *Introductory Fourier Transform Spectroscopy* (Academic Press, New York and London, 1972).
4. Peter Atkins and Julio De Paula, *Physical Chemistr.* (Oxford University Press, Oxford, 2006).
5. J. Lindon, *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (Academic Press, 2010).
6. G. S. Landsberg, *Optics* (Fizmatlit, Moscow, 2003) [in Russian].
7. V. A. Zorich, *Mathematical Analysis* (Fizmatlit, Moscow, 1984) [in Russian].
8. A. B. Sergienko, *Digital Signal Processing* (Piter, Saint Petersburg, 2006) [in Russian].
9. A. V. Nikonov, K. O. Boltar, and N. I. Iakovleva, *Prikladnaya Fizika*, No. 3, 70 (2012).
10. A. I. Patrashin, I. D. Burlakov, K. O. Boltar, M. D. Korneeva, A. V. Nikonov, A. A. Lopukhin, I. I. Taubkin, and N. I. Iakovleva, *Prikladnaya Fizika*, No. 6, 5 (2013).