

УДК 681.5.08

МАТРИЦА РЕЗОНАТОРОВ ФАБРИ-ПЕРО ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ТЕХНИКЕ

Кравченко В.М., Конойко А.И., Кузьмицкая А.С., Малютина-Бронская В.В.

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной работе отражены результаты работы по исследованию разработанной матрицы микрорезонаторов Фабри-Перо, функционирующей на основе термооптического эффекта. В ходе изучения данной системы были определены основные рабочие параметры и сделаны выводы о возможности ее применения в тепловизионной технике.

Ключевые слова: термооптический преобразователь, инфракрасное излучение, спектральные характеристики, методика измерения.

STUDY OF THE EXPERIMENTAL SAMPLE OF THE THERMOPTICAL CONVERTER BASED ON A FABRY-PEROT MICRORESONATOR MATRIX

Kravchenko V., Konoiko A., Kuzmitskaya H., Malyutina-Bronskaya V.

SSPA “Optics, Optoelectronics, and Laser Technology”
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. This paper reflects the results of the study of the developed array of Fabry-Perot microresonators, which operates on the basis of the thermo-optical effect. During the study of this system, the main operating parameters were determined and conclusions were drawn about the possibility of its application in thermal imaging technology.

Key words: thermo-optical converter, infrared radiation, spectral characteristics, measurement method.

Адрес для переписки: Кузьмицкая А.С., пр. Логойский, 22/1-207, Минск 220090, Республика Беларусь
e-mail: mickevichhanna@gmail.com

Введение. В настоящее время активно развивается направление тепловизионной техники и инфракрасных систем (ИК-систем) в связи с их широким применением в различных областях науки и техники. В ряде случаев выделяют две группы ИК-систем. К одной из которых относят системы, предназначенные для визуализации инфракрасных изображений (тепловизионные системы), а к другой – системы, служащие для радиометрических измерений. Каждая из этих систем обладает своими техническими требованиями по пространственному и временному разрешению, отношению сигнал/шум, пороговой чувствительности и другим. Среди промышленно выпускаемых ИК-систем наибольшее распространение получили неохлаждаемые тепловые многоэлементные фотоприемники излучения на основе микроболометрических матриц.

В настоящей работе представлены результаты разработки матрицы неохлаждаемой ИК-системы на базе микрорезонатора Фабри-Перо, функционирующего на основе термооптического эффекта, для его возможного применения в тепловизионной технике длинноволнового ИК-диапазона (от 8 до 14 мкм).

Материалы и методы исследования. В основе разработанной ИК-системы лежит матрица перестраиваемых теплоизолированных между собой микрорезонаторов Фабри-Перо (пикселей) на теплопроводной и прозрачной для оптического излучения подложке. Структурная схема пикселя и внешний вид матрицы микрорезонаторов Фабри-Перо представлен на рис. 1 и 2.



Рисунок 1 – Структурная схема пикселя матрицы микрорезонаторов Фабри-Перо

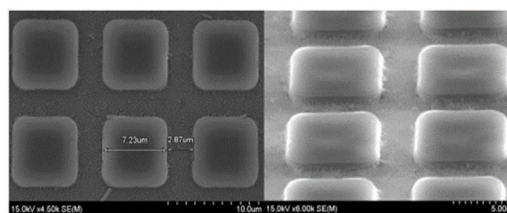


Рисунок 2 – Внешний вид матрицы микрорезонаторов Фабри-Перо

Принцип действия данной ИК-системы основан на термооптическом эффекте. Формируемое объективом изображение в длинноволновом ИК-диапазоне строится на матрице резонаторов-пикселей, из-за нагрева которых происходит сдвиг их пиковых длин волн. Поглощенная энергия падающего ИК-излучения приводит, в конечном счете к изменению оптической базы микрорезонатора. Система считывания направляет на резонаторы-пиксели считывающее излучение с длиной

волны, близкой к пиковым длинам волн спектральных характеристик резонаторов-пикселей. Коэффициент пропускания резонаторов-пикселей зависит от их температуры. Высокая чувствительность микрорезонаторов Фабри-Перо является следствием того, что принцип их работы базируется на физическом явлении многолучевой интерференции. Поэтому на фотоприемной матрице, принимающей считывающее излучение, формируется изображение, соответствующее нагреву резонаторов-пикселей, т. е. входному изображению в длинноволновом ИК-диапазоне. Таким образом, светомодуляционные характеристики микрорезонатора определяются коэффициентом температурного преобразования, т. е. температурной зависимостью базы резонатора.

Измерение зависимости коэффициента пропускания от длины волны получаемых микрорезонаторов производилось на приборе «Photon-RT» в спектральном диапазоне от 400 до 800 нм, с шагом 0,25 нм. Для оценки термооптического эффекта полученных структур была разработана специализированная оснастка, которая позволяет прямо в камере спектрофотометра нагревать экспериментальный образец от комнатной температуры до 65 °С, с шагом 0,1 °С. Температура экспериментального образца контролировалась термодатчиком.

Результаты исследований. Измерение параметров матрицы экспериментального образца проводилось согласно методике, описанной в [1, 2]. Основными рабочими параметрами являются максимальный коэффициент пропускания резонатора-пикселя, диапазон изменения рабочей температуры, температурный сдвиг максимума коэффициента пропускания на рабочей длине волны, крутизна преобразования ИК-излучения и коэффициент перестройки. Результаты исследований параметров экспериментального образца микрорезонатора Фабри-Перо приведены в табл. 1.

Также был проведен сравнительный анализ промышленно выпускаемых ИК-систем на базе микроболометрических матриц и экспериментального образца микрорезонатора Фабри-Перо. Данные результаты представлены в табл. 2. Матрицы фирм АТОМ 640 (Lynred, США) [3], TENUM™640 (Sierra-Olympic, США) [4] и TWV640 (BAE SYSTEMS, Великобритания) [5] разработаны на основе оксида ванадия и функционируют на основе микроболометрических принципов преобразования ИК-излучения.

Крутизна преобразования разработанной ИК-системы, определяемая изменением коэффициента пропускания резонатора-пикселя, происходящим на 1° К изменения температуры, составляет от 6 % до 9 %, что гораздо выше температурных коэффициентов сопротивления материалов

традиционных микроболометров (2,7 % для оксидов ванадия и 1,5 % для аморфного кремния). Необходимо отметить, что в разработанной ИК-системе отсутствуют проводниковые соединения со схемой считывания: это снижает уровень шума и дает возможность увеличить коэффициент годных пикселей, превышающий 98 %. Для получения температуростабильной работы разработанной ИК-системы, в диапазоне отрицательных температур окружающей среды, необходимо использование термостабилизирующего кожуха.

Таблица 1. Технические параметры экспериментального образца микрорезонатора Фабри-Перо

Параметр	Величина, ед.изм.
Максимальный коэффициент пропускания резонатора-пикселя	70 %
Диапазон изменения рабочей температуры	20 °С
Температурный сдвиг максимума коэффициента пропускания на рабочей длине волны	8,8 нм
Крутизна преобразования ИК-излучения	8,91 %/°С
Коэффициент перестройки	0,44 нм/°С

Заключение. Таким образом, ИК-система на базе разработанной матрицы микрорезонаторов Фабри-Перо не будет уступать тепловизионным системам сопоставимого класса по основным параметрам, а стоимость изготовления в случае серийного выпуска ниже (за счет меньшего количества фотолитографических процессов), что открывает новые возможности для развития тепловизионной техники.

Литература

1. Перспективы применения микрорезонаторов Фабри-Перо для тепловизионной техники / В. М. Кравченко [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 280–286.
2. Методика измерения характеристик экспериментального образца термооптического преобразователя / В. Б. Залесский [и др.] // 14-я международная научно-техническая конференция «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ – 2021», Минск, 17–19 ноября 2021 г. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 127–130.
3. ATTO640™ – Infrared sensor [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.lynred-usa.com/products/vga-resolution/atto640-infrared-sensors.html>. – Date of access: 06.10.2022.
4. TENUM® 640 10 micron pixel pitch LWIR [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sierraolympic.com/thermal-cameras-lwir/tenum-640/>. – Date of access: 06.10.2022.
5. TWV640 Thermal Camera Core [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.baesystems.com/en/product/twv640-thermal-camera-core>. – Date of access: 06.10.2022.