

ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ КАМЕР

И.Н. Лариошкин, Т.А. Акименко

Представлен анализ параметров тепловизионных камер, характеристики болометрических фотоприемных устройств и принцип работы таких камер.

Ключевые слова: тепловизионная камера, приемник, ИК-диапазон, Ик-приемники, болометр, фотодиоды.

Основным параметром тепловизионных камер ИК диапазона, принятым в иностранной литературе, является эквивалентная шуму разность температур, NETD (Noise-Equivalent Temperature Difference). Этот параметр характеризует способность камеры различать малые сигналы на фоне шумов. В отечественной литературе этот параметр принято обозначать как пороговая разность температур $\Delta T_{\text{пор}}$. Ряд параметров тепловизионных камер, таких как $\Delta T_{\text{пор}}$, контраст и т. п., помимо зависимости от параметров оптических элементов и электронного тракта камеры, зависят от электрофизических и фотоэлектрических параметров приемников излучения. И необходимой предпосылкой получения высокого температурного разрешения камеры является условие согласования с ней приемника излучения. В качестве удобного объекта для такого анализа согласования хорошо подходит тепловизионная камера с фотодиодами на $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, так как при изменении состава $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ у него плавно изменяется E_g и все его электрофизические параметры, и есть возможность проследить тенденцию изменения $\Delta T_{\text{пор}}$ камеры с такими фотодиодами при изменении $\lambda_{\text{со}}$ по широкому спектральному ИК диапазону.

При выборе приемника рассматривают его основные параметры: длину волны (спектральный ответ), чувствительность, скорость ответа (постоянная времени) и размер оптической площадки (элемента).

Фотодиоды ИК спектра с охлаждаемыми длинноволновыми фильтрами. В ряде случаев целесообразно применение у приемников охлаждаемых оптических фильтров, отсекающих нерабочие участки спектра, излучение которых является источником дополнительного радиационного шума.

Приемники, чувствительные в спектральном диапазоне 3...5 мкм, при наблюдении удаленных объектов принимают как излучение фона, так и излучение объекта наблюдения из одного и того же спектрального диапазона. Поэтому охлаждаемые оптические фильтры приводят одновременно к уменьшению и шума и сигнала. Причем из-за более сильного уменьшения сигнала наблюдается уменьшение D^* в силу линейной зависимости

сигнала от потока фотонов объекта (через квантовую эффективность) и шумового сигнала, пропорционального корню квадратному из потока фотонов фона

Приемники, имеющие граничную длину волны λ_{co} в спектральном диапазоне 8...14 мкм, принимают излучение от объекта (при наблюдении через атмосферу) в спектральном диапазоне 8... λ_{co} , а радиационный шум фона в диапазоне $\lambda \dots \lambda$, где λ – коротковолновая граница чувствительности приемника, причем диапазон $\lambda_k \dots \lambda_{co}$, как правило, шире диапазона 8... λ_{co} . Поэтому у приемников диапазона 8...14 мкм целесообразно применение длинноволновых охлаждаемых оптических фильтров, которые приводят к улучшению их шумовых характеристик и, следовательно, (при наблюдении удаленных объектов) $\Delta T_{пор}$ камеры.

Иммерсионные фотодиоды ИК диапазона на CdHgTe. Матрицы ИК диапазона 8...14 мкм на CdHgTe это гибридные матрицы, связанные с процессором CCD. Они работают при 80 К, обычно с полем зрения (FOV) 0.25 страд, время интегрирования ~20 мкс. Однородность FPA на CdHgTe по чувствительности хорошая, среднеквадратичное отклонение меньше 3%. Пиковая обнаружительная способность $\approx 2.2 \cdot 10^{11}$ см·Гц^{1/2}/Вт выше, чем обнаружительная способность ограниченная фоном. Количество дефектных элементов ниже 0.5%.

Недостатком фотодиодов на Cd_xHg_{1-x}Te длинноволнового ИК диапазона являются низкие R_0A , обусловленные низким контактным потенциалом узкозонного полупроводника, который накладывает принципиальные ограничения на величину R_0A . Низкие R_d фотодиодов создают проблему реализации их собственных шумов, так как предъявляются высокие требования к шумовым свойствам ПУ. Уменьшение габаритных размеров тепловизионных камер и применение короткофокусной оптики также накладывают ограничения на минимальное пятно рассеяния, то есть на размер чувствительной площадки переходов.

Одним из решений проблемы увеличения R_d и уменьшения собственных шумов фотодиодов с $\lambda_{co} = 8...14$ мкм может быть известное свойство иммерсионной линзы (ИЛ), находящейся в оптическом контакте с чувствительным элементом. Эта линза дает возможность существенно уменьшить площадь элемента, следовательно, повысить его R_d , не уменьшая при этом геометрических размеров пятна рассеяния и не теряя величины сигнала, что, в частности, особенно важно для приборов, в которых приемник выполняет функцию полевой диафрагмы.

Иммерсионная линза действует как на сигнал, так и на шум фотодиода, изменяя их отношение, то есть, в конечном счете, обнаружительную способность D_λ^* .

Тепловизионные камеры ИК диапазона 3... м на матрицах InSb. ФПУ AE194 с FPA на InSb корпорации «Raytheon» среднего формата 256×256 разработано для применения в таких системах как системы реак-

тивных снарядов, самонаводящихся снарядов истребителей-перехватчиков и системы коммерческих изображающих камер. Это ФПУ применяется в AR- ROW и THAAD противоракетных системах и входит в «Litening» и «Radiance» РМ камеры. Оно также используется в других камерах для различных применений: проверки электрических трансформаторов, контроля процесса изготовления стали и идентификации печатных коммутационных панелей для замены априорного выхода их из строя. ФПУ обеспечивает режим интегрирования моментального снимка для считывания интересных областей или “окон”. Это позволяет получать форматы 64×64, 126×126 или полные кадры, и таким образом возможность расширять частоту кадра.

Многодиапазонные ИК приемники. Во всех конструкциях приемников типа “сэндвич” последовательность расположения чувствительных элементов следующая: самым верхним является элемент с самой короткой пороговой длиной волны λ_{CO} , затем элемент с более длинной λ_{CO} и т. д.

Многодиапазонные, или их называют еще “многоцветные”, приемники изготавливаются из фоторезисторов или из структур с р-п-переходами. Для изготовления многодиапазонных приемников применяются те же технологические методы, что и для изготовления однодиапазонных. Наличие в приемниках типа “сэндвич” нескольких структур приводит к тому, что их квантовая эффективность, коэффициент использования излучения, а также шумовые характеристики в режиме ограничения фоном взаимозависимы, связаны с пороговыми длинами волн λ_{CO} структур, входящих в приемник, и характеристиками их просветляющих покрытий. Известно, что для получения теплового “цветового” изображения в ИК диапазоне, как и в видимом диапазоне, достаточно ограничиться тремя “цветами”. Поэтому при разработке ограничиваются тремя чувствительными элементами.

Болометрические матричные приемники. Болометр — сенсор, изменяющий сопротивление в зависимости от температуры.

Принцип работы болометров основан:

электронные болометры - изменение подвижности носителей от температуры (болометры на «горячих» электронах), наблюдающейся в полупроводниках с малым количеством примесей и с высокой подвижностью носителей, которые слабо взаимодействуют с решеткой;

обычные болометры - «прыжковая» проводимость, возникающая в результате перехода носителя по примесному уровню от нейтрального атома к заряженному прыжком с некоторой энергией активации, пропорциональной ТКС (температурный коэффициент сопротивления), которая определяется материалом решетки полупроводника, концентрацией и характером компенсирующей примеси.

В таблице представлены характеристики болометрических фотоприемных устройств.

Характеристики болометрических фотоприемных устройств

Фирма производитель прибора	Параметры матрицы				
	Число элементов матрицы	Размер элемента матрицы	Температура чувствительности	Диапазон рабочих температур, °С	Спектральная чувствительность, мкм
Nytech Imagin MMB-3000	320×240	51×51	0,07	выше 0	8÷12
Elcan Specter IR	320×240		0,1	-10 +60	7,5÷12,5
Raytheon Series 300 Intertech, Москва	320×240		0,1	-40 +70	8÷12
Micro-CAM IR-μCAM	320×240	50×50	0,1	-20 +60	7÷14
IR 108 ИК матричный детектор	320×240	45×45	0,08	-20 +50	8÷14
FLIR ThermoCAM PM695	320×240		0,08	-15 +45	7,5÷13
Micron компании Indigo	160×120	51×51		-40 +55	7,5÷13,5
UC320D микроболометры компании Lumitron	320×240	51×51		-30 +60	8÷14
UC320U микроболометры компании Lumitron	320×240	35×35		-30 +60	8÷14
Palm IR 500 корпорации Raytheon	320×320		<0,1	-20 +49	7÷14

Произведенный анализ параметров тепловизионных камер, характеристик болометрических фотоприемных устройств и принцип работы таких камер, позволил получить характеристики болометрических фотоприемных устройств.

Список литературы

- 1.Туринов В. И. Приемники и тепловизионные камеры ИК диапазона: Справочник. Фрязино, 2013. 513 с.
2. Ллойд Дж. Системы тепловидения. М.: Мир, 1978. 417 с.

3. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Конспект лекций: Многоэлементные приемники излучения. М. : МИИГАиК, 2001. 110 с.
4. Rogalski, Antoni. Infrared detectors: status and trends. Review // Progress in Quantum Electronics, 2003. Vol. 27. P. 59–210.
5. Коротаев В.В., Мельников Г.С., Михеев С.В., Самков В.М., Солдатов Ю.И. Основы тепловидения. СПб: НИУ ИТМО, 2012. 122 с.
6. Ишанин Г.Г., Панков Э.Д., Андреев А.Л., Польщиков Г.В. Источники и приемники излучения: учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов. СПб.: Политехника, 1991. 240 с.

Лариошкин Иван Николаевич, асп., ivandrigo4713@gmail.com, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Акименко Татьяна Алексеевна, канд. техн. наук, доц., tantan72@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

THERMAL IMAGING CAMERA PARAMETERS

I.N. Larioshkin, T.A. Akimenko

The analysis of parameters of thermal imaging cameras, characteristics of bolometric photodetective devices and the principle of operation of such cameras are presented.

Key words: thermal imaging camera, receiver, IR-range, IR-receivers, bolometer, photodiodes.

Larioshkin Ivan Nikolaevich, postgraduate, ivandrigo4713@gmail.com, Russia, Tula, Tula State University,

Akimenko Tatiana Alekseevna, candidate of technical sciences, docent, tantan72@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University