

УДК 621.383.525

ДВУХЦВЕТНЫЕ СЭНДВИЧ-ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

А.А.Абрамова, В.В.Гаврушко

DUAL SANDWICH DETECTORS FOR THE FIRE ALARM SYSTEMS

A.A.Abramova, V.V.Gavrushko

Институт электронных и информационных систем НовГУ, Valery.Gavrushko@novsu.ru

Приводится описание конструкций двух типов неохлаждаемых сэндвич-фотоприемников для спектральных диапазонов 0,5...1,7 мкм и 0,4...2,3 мкм. Фотоприемники представляют собой фотодиоды на основе кремния и германия, а также на основе кремния и четверного полупроводникового соединения InGaAsSb. Фотоприемники имеют широкие диаграммы направленности: 40° для фотоприемников первого типа и 95° — для второго. Измерено отношение сигналов (δ) длинноволнового канала к коротковолновому, которое продемонстрировало возможность надежной идентификации пламени на фоне помех. Так, для фотоприемников первого типа $\delta = 10$, если происходило изменение температуры объекта от 3000 К до 1500 К, а для второго отношение сигналов достигало значений $\delta = 35$.

Ключевые слова: сэндвич-фотоприемник, фотодиод, спектральный диапазон, диаграмма направленности, отношение сигналов

This paper describes two types of uncooled dual sandwich detectors or two color detectors for the spectral ranges of 0.5 ... 1.7 μm and 0.4 ... 2.3 μm . The detectors consist of the silicon and germanium photodiodes, as well as the photodiodes of silicon and quaternary semiconductor compound InGaAsSb. Directional patterns were 40° for the detectors of the first type and 95° for the second type of detectors. We also measured the signal ratio (δ) for the longwave and shortwave signals, which demonstrated the possibility of reliable identification of the flame against background noise. So $\delta = 10$ for the first type of detectors and $\delta = 35$ for the second type of detectors if the temperature of the object changed from 3000 to 1500 K.

Keywords: sandwich detector, photodiode, spectral range, directional pattern, signal ratio

1. Введение

Двухцветные фотоприемники представляют собой приборы, позволяющие регистрировать оптическое излучение одновременно в двух спектральных диапазонах. При этом один из каналов является основным, а второй вспомогательным. Основной канал должен быть согласован со спектром излучения исследуемого объекта, а вспомогательный может быть настроен на вероятную помеху. Использование двухцветных фотоприемников позволяет осуществлять идентификацию излучающих объектов, измерять с высокой точностью их температуру, повышает вероятность обнаружения целей и снижает вероятность принятия ложных решений [1]. При использовании конструкции типа «сэндвич» фотоприемники располагаются один за другим. Это обеспечивает им дополнительное преимущество, позволяющее совместить диаграммы направленности обоих каналов. В настоящей работе рассматриваются два варианта сэндвич-фотоприемников для пожарных извещателей.

2. Структура и характеристики фотоприемников

Во многих случаях конструкция и типы фотоприемников определяются технологическими возможностями их изготовления. В данной работе обсуждается использование двух удобных для технологического воплощения вариантов неохлаждаемых двухцветных фотоприемников для обнаружения или регистрации открытого пламени. В первом варианте сэндвич-фотоприемник выполнен на основе хорошо освоенных традиционных материалов: кремния и германия. Схема такого фотоприемника приведена на рис.1. В качестве первого приемника использовался кремниевый диффузионный фотодиод (3), который поглощал коротковолновую часть потока излучения. Отфильтрованный поток с длиной волны более 1,1 мкм регистрировался германиевым фотодиодом (1). Фотоприемник собирался на коваровом держателе (2), который кроме конструктивных функций играл роль диафрагмы длинноволнового фотодиода. Для уменьшения поглощения на свободных носителях длинноволновой составляющей излучения в качестве базового материала первого приемника был использован высокоомный кремний марки КЭФ 500.

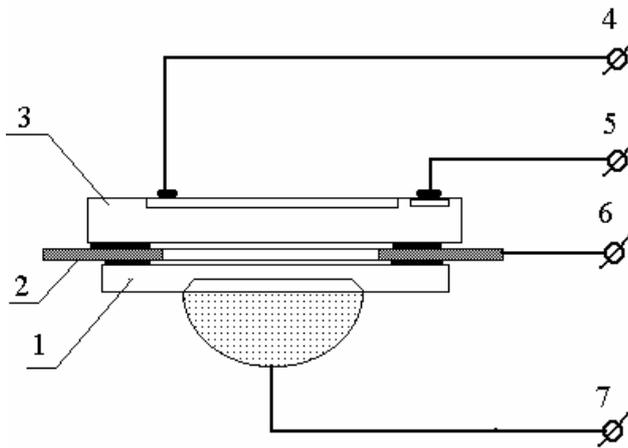


Рис.1. Двухцветный фотоприемник на основе германия и кремния

В качестве основного канала использован автоэпитаксиальный фотодиод на основе германия. Особенностью конструкции сэндвич-фотоприемников является необходимость использовать для обеспечения достаточной величины угла зрения верхний кристалл большего размера, чем нижний. Размеры приемной площадки верхнего фотодиода составляли $2,6 \times 2,6 \text{ мм}^2$, а фоточувствительная область германиевого фотодиода имела диаметр 1,2 мм.

Распределение относительной спектральной чувствительности фотоприемника приведено на рис.2. Как видно, спектры чувствительности в таком фотоприемнике разнесены, что позволяет классифицировать источники излучения по отношению сигналов верхнего и нижнего фотоприемников. Достоинством такого варианта фотоприемника является высокая рабочая температура, что связано со сравнительно широкой запрещенной зоной материала основного канала. Кроме того, использование фотодиодов на основе хорошо отработанной технологии кремниевых и германиевых приборов позволяет снизить затраты на изготовление фотоприемника.

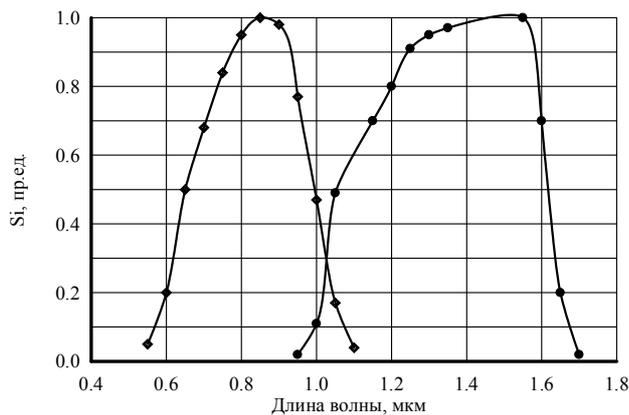


Рис.2. Спектральные характеристики фотоприемника на основе Si/Ge

Для второго варианта коротковолновый канал был аналогичен описанному выше, а в качестве основного канала использован неохлаждаемый фотодиод на основе твердого полупроводникового раствора $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$, при значениях $x = 0,18$ $y = 0,17$ [2].

Фоточувствительные структуры получены методом жидкофазной эпитаксии [3]. Чувствительные площадки фотодиодов выделены химическим травлением с последующей защитой поверхности стабилизирующим окислом. Схема фотоприемника второго типа приведена на рис.3. На рис.4 приведены спектральные характеристики фотоприемника.

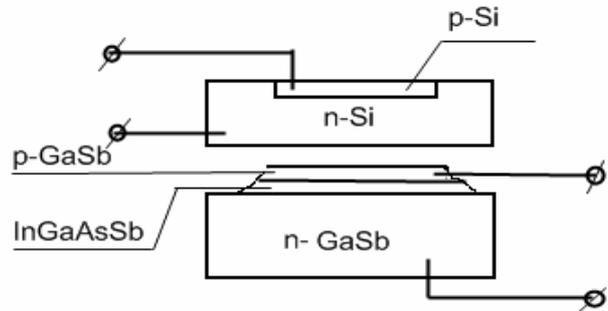


Рис.3. Фотоприемник на основе Si/InGaAsSb

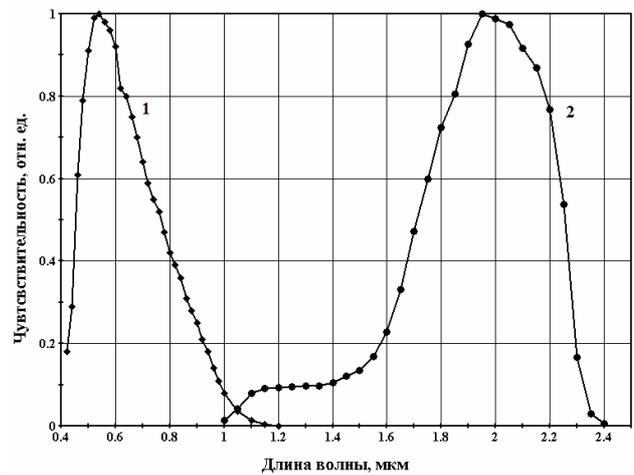


Рис.4. Спектральные характеристики фотоприемника на основе Si/InGaAsSb

Исходя из приведенных данных, следует, что диапазон спектральной чувствительности основного канала составляет 1,5-2,3 мкм, а вспомогательного канала — 0,4-1,1 мкм. Рассмотрим целесообразность применения такого фотоприемника в качестве пожарного датчика. Температура горения органики обычно находится в диапазоне 1100-1500 К, а температура вероятных помех для пожарного извещателя, связанных с искусственными источниками света, порядка 2700-3000 К. Тогда максимум в спектре излучения полезного сигнала приходится на длины волн $\lambda_{\text{max}} = 2,6-2,0 \text{ мкм}$, а максимум в спектре излучения помехи $\lambda_{\text{max}} = 0,97-1,1 \text{ мкм}$. Если ставится задача защиты от солнечных бликов, то следует учесть помехи с $\lambda_{\text{max}} = 0,5 \text{ мкм}$. Таким образом, можно считать, что фотоприемник второго типа близок к оптимальному, поскольку спектры чувствительности как основного, так и дополнительного каналов хорошо согласуются со спектрами излучения сигнала и помехи.

Важной характеристикой фотоприемника является диаграмма направленности. На рис.5 и 6 приведены экспериментально снятые диаграммы направ-

ленности для фотоприемников первого и второго типов. Для первого фотоприемника диаграммы соосны, а ширина (по уровню 0,5) составила: 40° для основного канала и 60° для вспомогательного. Различие в ширине диаграмм направленности требует для устранения ошибок использования внешнего экрана, ограничивающего поле зрения фотоприемника до наименьшего из каналов. При необходимости можно изменить диаграммы как в сторону их сужения, так и в сторону расширения путем уменьшения или увеличения размеров входного окна фотоприемника. Диаграммы направленности фотоприемника второго типа были идентичными для обоих каналов и составили 95°.

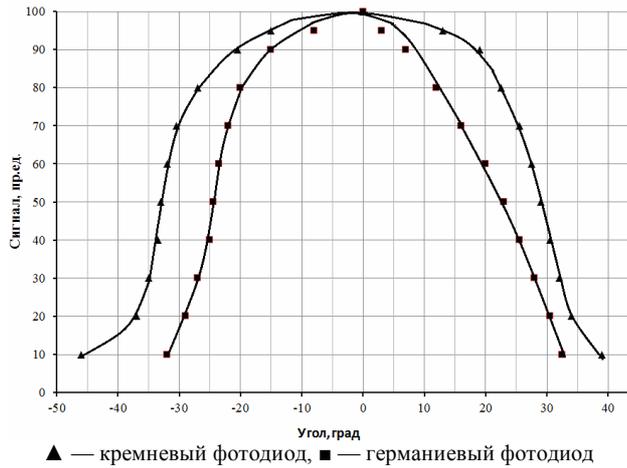


Рис.5. Диаграммы направленности фотоприемника Si/Ge

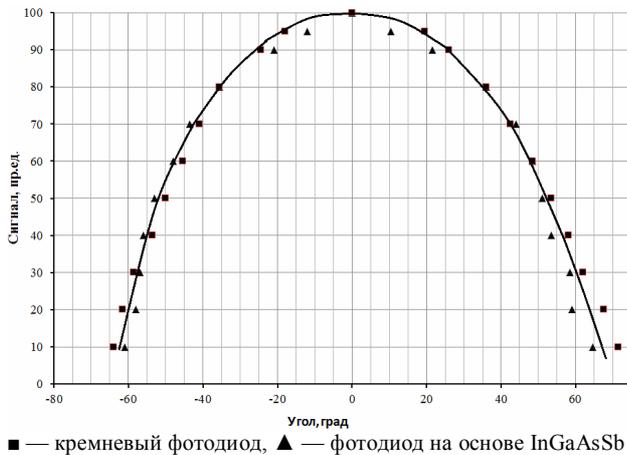


Рис.6. Диаграммы направленности фотоприемника Si/InGaAsSb

3. Результаты

С целью проверки возможности идентификации целей были проведены экспериментальные исследования зависимости сигналов фотоприемников от температуры теплового источника в диапазоне от 1200°K до 6000°K. В качестве источника использовались нагретая до разных температур нить лампы накаливания и прямое солнечное излучение. Температура нити определялась двумя способами: по изменению сопротивления для невысоких температур и по яркостной температуре при помощи пирометра для высоких. На рис.7,8 представлены зависимости от-

ношения фотосигналов длинноволнового и коротковолнового каналов от температуры источника излучения. Результаты эксперимента сравнивались с теоретически рассчитанными зависимостями отношения обратных коэффициентов использования излучения АЧТ при разных температурах [4]. Коэффициенты использования излучения были рассчитаны по зависимости:

$$K_{isp}(T) = \Sigma(W_i)/W_0,$$

где W_0 — удельная интегральная энергетическая светимость черного тела, определяемая по закону Стефана—Больцмана:

$$W_0 = \sigma * T^4,$$

где $\sigma = 5,67 * 10^{-8} \text{Вт} * \text{м}^{-2} * \text{К}^{-4}$ — постоянная Стефана—Больцмана. Величина $\Sigma(W_i)$ определялась путем численного интегрирования методом трапеций:

$$W_i = (M(\lambda_i) * S_{\lambda_i} + M(\lambda_{i-1}) * S(\lambda_{i-1}) * (\lambda_i - \lambda_{i-1}) / 2),$$

где S_{λ} — спектральная токовая чувствительность фотодиода, $M(\lambda)$ — спектральная излучательная способность в соответствии с законом Планка:

$$M_{\lambda} = C_1 \lambda^{-5} [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]^{-1}.$$

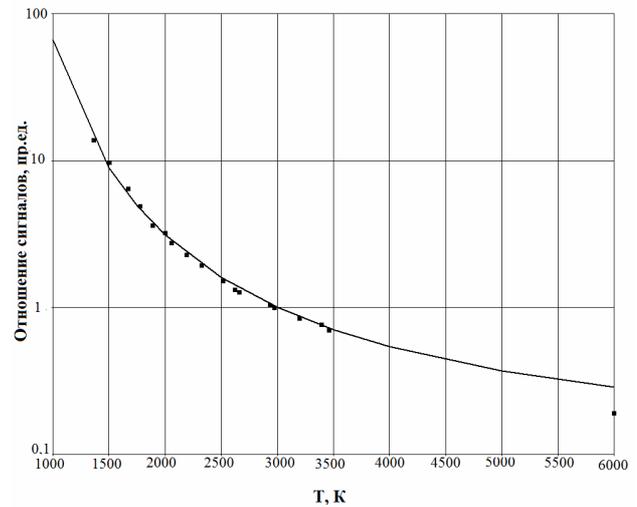


Рис.7. Отношение фотосигналов основного и вспомогательного каналов в зависимости от температуры источника излучения для сэндвич-фотоприемника Si/Ge

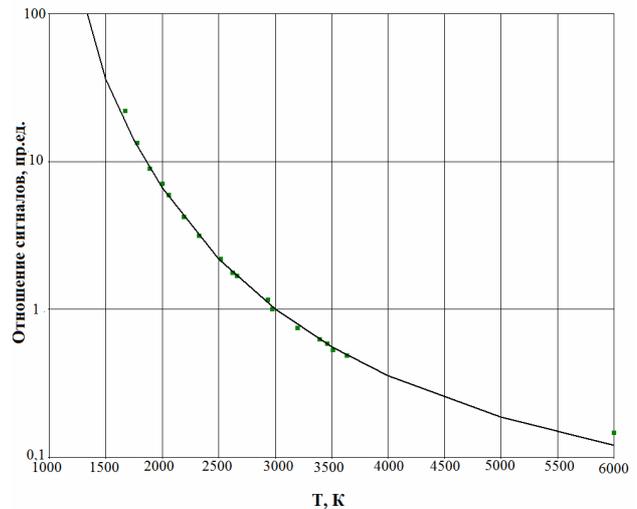


Рис.8. Отношение фотосигналов основного и вспомогательного каналов в зависимости от температуры источника излучения для сэндвич-фотоприемника Si/InGaAsSb

Как видно, наблюдалось неплохое согласие рассчитанных и измеренных результатов. Если принять отношение сигналов за единицу при температуре 3000 К, что соответствует спектру ламп накаливания (вероятной помехи), то отношение сигналов для температуры пламени (1500 К) увеличивалось на порядок для приемника Si/Ge, а для приемника Si/InGaAsSb отношение превышало 35 крат. В случае солнечных бликов, наоборот, отношение сигналов уменьшалось до 0,19 и 0,14 для приемников первого и второго типов соответственно (см. табл.).

Отношение фотосигналов длинноволнового и коротковолнового каналов для различных источников излучения

Тип ФП	Отношение сигналов		
	1500 К	3000 К	6000 К
Si/Ge	10	1	0,19
Si/InGaAsSb	35	1	0,14

Заключение

Таким образом, двухцветные сэндвич-фотоприемники обоих типов позволяют надежно идентифицировать источники возгорания и могут быть рекомендованы для использования в пламенных пожарных извещателях. При этом фотоприемники на основе Si/InGaAsSb имеют более высокие технические характеристики и близки к оптималь-

ным для пожарных извещателей, а фотоприемники на основе Si/Ge отличаются хорошей технологичностью.

1. Гаврушко В.В., Сапожников А.А. Двухцветные сэндвич-фотоприемники // Петербургский журнал электроники. 2005. №3. С.31-38.
2. Андреева Т.А., Гаврушко В.В., Сапожников А.А. и др. Неохлаждаемое фотоприемное устройство для спектрального диапазона 1,8-2,3 мкм // Прикладная физика. 2005. №2. С.75-77.
3. Андреев В.М., Долгинов Л.М., Третьяков Д.Н. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. М.: Сов.радио, 1975. 328 с.
4. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Сов.радио, 1978. 400 с.

References

1. Gavrushko V.V., Sapozhnikov A.A. Dvukhtsvetnye sandwich-fotopriemniki [Dual sandwich detectors]. Peterburgskii zhurnal elektroniki, 2005, no. 3, pp. 31-38.
2. Andreeva T.A. Gavrushko V.V. Sapozhnikov A.A. Proshkin Iu.N., Kuziukov S.G. Chuprakov A.M. Shlenskii A.A. Neokhlazhdaemoe fotopriemnoe ustroistvo dlia spektral'nogo diapazona 1,8-2,3 mkm [Uncooled detector for the 1.8-2.4 wave band]. Prikladnaia fizika – Applied Physics, 2005, no. 2, pp. 75-77.
3. Andreev V.M., Dolginov L.M., Tret'iakov D.N. Zhidkostnaia epitaksiia v tekhnologii poluprovodnikovyykh priborov [Liquid epitaxy for semiconductor process]. Moscow, "Sovetskoe radio" Publ., 1975. 328 p.
4. Kriksunov L.Z. Spravochnik po osnovam infrakrasnoi tekhniki [Guidelines for infrared technology]. Moscow, "Sovetskoe radio" Publ., 1978. 400 p.