

УДК 535:608

ДВУХСПЕКТРАЛЬНЫЕ АЛМАЗНЫЕ ГИБРИДНЫЕ ФОТОПРИЕМНИКИ

© 2013 г. Академик Ю. В. Гуляев, А. Ю. Митягин, В. С. Фещенко, Г. В. Чучева

Поступило 06.02.2012 г.

DOI: 10.7868/S0869565213160093

Основой развития современных космических и авиационных оптоэлектронных систем (ОЭС) дистанционного зондирования является создание многоспектральных комплексов, обеспечивающих получение цифровых изображений одновременно в нескольких спектральных диапазонах. Сочетание возможностей взаимодополняющих оптических каналов для реализации многоспектральных информационных систем трудно переоценить, оно является перспективным и востребованным направлением и наиболее рациональным способом построения будущих типов ОЭС. Наиболее актуальной научной и технологической задачей является создание базовых технологий и унифицированных многоэлементных фотоприемных спектрально-селективных модулей на основе алмаза для нового поколения оптоэлектронной аппаратуры наблюдения и распознавания объектов в УФ-области спектра. Эта задача обусловлена необходимостью реализации нового типа многоспектральных, помехозащищенных ОЭС с предельными обнаружительными характеристиками для решения широкого круга задач, в том числе двойного назначения. Такие ОЭС крайне перспективны ввиду увеличенной помехозащищенности и высокой обнаружительной способности. Практическое применение интегрально-комплексированных фотоприемников, работающих одновременно в УФ- и ИК-спектральных диапазонах, обеспечит:

повышение достоверности обнаружения объектов за счет приема и обработки многоспектральной входной информации;

*Институт радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова
Российской Академии наук, Москва
Фрязинский филиал Института радиотехники
и электроники им. В.А. Котельникова
Российской Академии наук, Московская обл.
Производственно-технологический центр
“УралАлмазИнвест”, Москва*

снижение вероятности ложных тревог примерно в 50 раз за счет рационального комплексирования информационных каналов и применения адаптивных алгоритмов обработки информации.

В работе впервые реализованы разработка и создание многоспектральных интегрально-комплексированных фотоприемников на основе алмаза, работающих одновременно в УФ- и ИК-спектральных диапазонах.

Простейшей схемой построения многодиапазонных ОЭС является механическое объединение автономных систем, каждая из которых имеет собственные оптическую систему и приемник излучения, обеспечивающие работу в определенных спектральных диапазонах. По такому пути шли как российские, так и зарубежные специалисты.

АЛМАЗНЫЙ ФОТОДЕТЕКТОР, РАБОТАЮЩИЙ В УФ + ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ

Наша задача заключалась в разработке и создании технологии алмазных гибридных фотоприемников, работающих одновременно в ультрафиолетовом и другом диапазоне длин волн. Известны многоэлементные гибридные микроэлектронные устройства, предназначенные для детектирования УФ-излучения [1]. Они состоят из двух основных частей – интегральной схемы детектирования УФ-излучения и, как правило, кремниевой интегральной схемы преобразования принятого УФ-сигнала, в которых собственно фотоприемная матрица электрически связана с матричным кремниевым мультиплексором посредством индиевых столбиков (flip-chip-сборка). Недостатком такой конструкции является ограничение диапазона детектируемого излучения УФ-диапазоном спектра. Также известны решения [2], когда отдельные элементы чувствительного слоя, принимающие излучение в разных рабочих спектральных диапазонах, располагаются поочередно – по отдельным столбцам. Сигналы с этих элементов поступают на низкошумящие трансимпе-

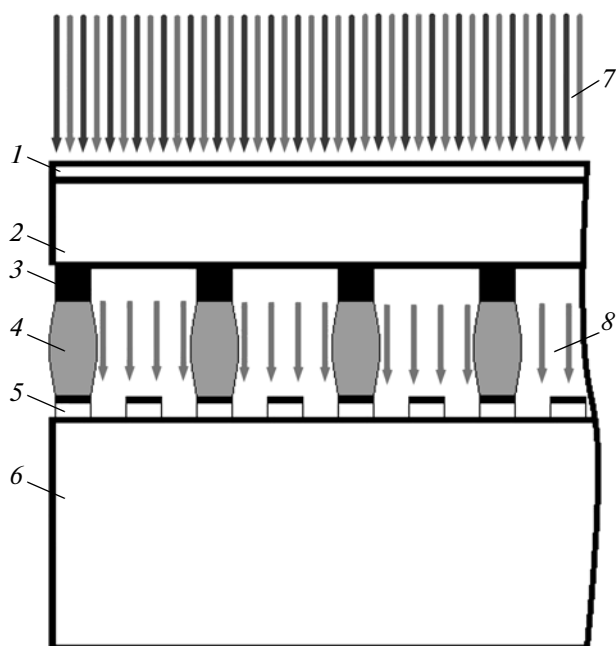


Рис. 1. Схема алмазного МФП: 1 — верхний электрод; 2 — алмазная пластина; 3 — нижний электрод чувствительного элемента МФП; 4 — индиевый столбик; 5 — чувствительные площадки кремниевого мультиплексора; 6 — кремниевый мультиплексор; 7 — падающее излучение; 8 — отфильтрованное излучение.

данские усилители схемы считывания, различающиеся для каждого из двух типов приемников коэффициентом усиления и емкостью ячеек накопления зарядов. Недостатком такой конструкции является то, что для каждого из двух типов приемников приходится изготавливать свой тип усилителя, отличающийся коэффициентом усиления и емкостью ячеек накопления зарядов. Кроме того, в этом случае остается нерешенным вопрос защиты кремниевого мультиплексора от жесткого УФ-излучения.

Технической задачей, решаемой с помощью предлагаемого подхода [3], является расширение детектируемого диапазона излучения в УФ-диапазоне спектра. Указанная задача решается посредством того, что матричный фотоприемник состоит из алмаза и имеет в два раза больший шаг по оси X и Y , чем матричный кремниевый мультиплексор, а индиевые столбики, связывающие фоточувствительные элементы матричного фотоприемника и матричного кремниевого мультиплексора, отсутствуют в промежутках между чувствительными элементами алмазного матричного фотоприемника.

Использование предлагаемой конструкции матричного фотодетектора и мультиплексора позволяет, с одной стороны, детектировать УФ-излучение, а с другой стороны, фильтровать его с

целью защиты кремниевого мультиплексора. Увеличение в два раза шага матричного фотодетектора и отсутствие индиевых столбов на кремниевом мультиплексоре в промежутках между чувствительными элементами многоспектрального фотоприемника (МФП) позволяют видимому излучению проходить сквозь алмазный МФП и детектироваться на свободных площадках кремниевого мультиплексора. Принципиальным отличием предложенной конструкции является то, что в этом случае не требуется изготавливать для каждого из двух типов приемников свой тип усилителя, отличающийся коэффициентом усиления и емкостью ячеек накопления зарядов. Время накопления регулируется в нашем случае (рис. 1) разным напряжением смещения на алмазном МФП (между электродом 1 и 5) и на кремниевом мультиплексоре. Устройство работает следующим образом (рис. 1).

В состав МФП входят: 1 — верхний плоский платиновый электрод, 2 — алмазная пластина, 3 — нижний электрод чувствительного элемента алмазного МФП. Плоский верхний платиновый электрод 1 служит для приема падающего излучения, на который подается напряжение смещения. На электрод 1 через трафарет с окнами для прохождения видимого излучения наносится напылением полупрозрачный для УФ-излучения слой платины. Причем окна в электроде 1 расположены строго вертикально над свободными чувствительными площадками кремниевого мультиплексора.

При подаче на поверхность МФП излучения 7 его УФ-составляющая поглощается и на чувствительных элементах алмазного МФП (1, 2, 3) возникает фототок, который через индиевые столбики 4 поступает на кремниевый мультиплексор 6 и детектируется как УФ-сигнал. Видимый свет 8 без поглощения проходит в промежутках между чувствительными элементами алмазного МФП и попадает на чувствительные площадки кремниевого мультиплексора 5, где поглощается и детектируется как видеосигнал.

Микросхемы обработки и выделения сигналов гибридной фотосистемы могут быть изготовлены на основе стандартных технологий, применяемых при создании кремниевых микросхем. Кремниевый мультиплексор может быть изготовлен в виде коммутатора.

Сборка гибридной фотосистемы осуществляется посредством ультразвуковой или термокомпрессионной сварки. Следует подчеркнуть, что для создания такой системы практически на всех этапах могут быть использованы стандартные технологические процессы, что говорит о возможности ее промышленного выпуска.

**АЛМАЗНЫЙ ФОТОДЕТЕКТОР,
РАБОТАЮЩИЙ В УФ + ИК-ДИАПАЗОНЕ**

Известны многоэлементные микроэлектронные устройства [2], в которых отдельные элементы чувствительного слоя, принимающие излучение в разных рабочих спектральных диапазонах, располагаются поочередно – по отдельным столбцам, что позволяет решить проблему расширения детектируемого диапазона за счет усложнения конструкции мультиплексора. Сигналы с этих элементов поступают на низкошумящие трансимпедансные усилители схемы считывания, имеют разные для каждого из двух типов приемников коэффициенты усиления и емкости ячеек накопления зарядов.

Недостатком такой конструкции является то, что для каждого из двух типов приемников приходится изготавливать свой тип усилителя, с разными коэффициентами усиления и емкостью ячеек накопления зарядов, что технологически очень сложно и существенно повышает стоимость конечного изделия. Кроме того, в этом случае остается нерешенным вопрос защиты кремниевого мультиплексора от жесткого УФ-излучения, что приводит к существенному снижению его надежности и срока службы.

Воспользуемся подходом, описанным выше для УФ + видимого спектра МФП, для создания оригинальной конструкции гибридного УФ + ИК фотодетектора [4] (рис. 2). Важным элементом является алмазная пластина 2 на нижней поверхности которой в определенном порядке расположены легированные бором площадки 9. Площадки 9 алмазного МФП, легированные бором, служат для детектирования ИК-излучения. Эти площадки созданы путем имплантации бора в нижнюю поверхность алмазной пластины с последующей его активацией путем отжига. Они находятся напротив верхних торцов электродов 3, их размеры должны быть не меньше размеров торцов электродов, расположены под окнами электрода 1, выполненными в шахматном порядке над верхними торцами нижних четных или нечетных электродов 3.

Нижние электроды 3 чувствительных элементов алмазного МФП служат для сбора электрического сигнала, возникшего в результате детектирования излучения в каждом отдельном фотоприемнике на алмазной пластине. Изготавливаются нижние электроды 3 напылением металла, например, золота на алмазную пластину 2, причем шаги по осям X и Y равны между собой и такие же, как шаги окон в электроде 1 и чувствительных площадок 5, расположенных на мультиплексоре 6. Плоский кремниевый мультиплексор 6 осуществляет усиление, коммутацию и обработку сигналов, поступающих на его чувствительные площадки 5, и

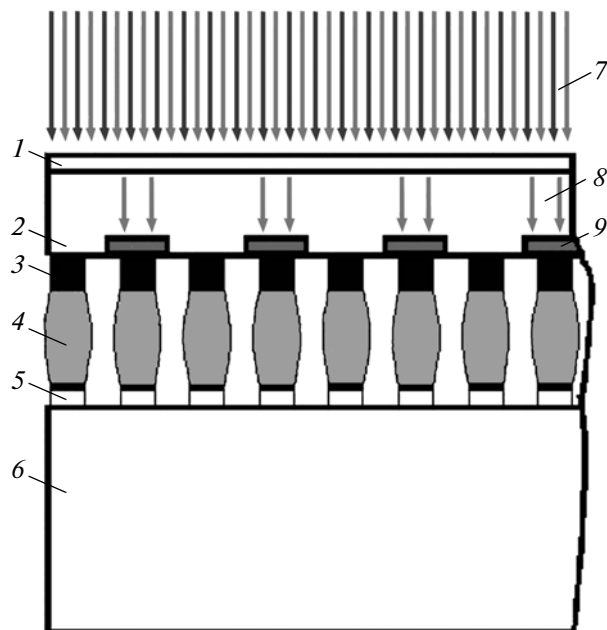


Рис. 2. Конструкция макета многоспектрального алмазного гибридного фотоприемника, работающего в УФ- и ИК-спектральных диапазонах: 1 – верхний полупрозрачный платиновый электрод с окнами алмазного МФП; 2 – алмазная пластина МФП; 3 – нижние электроды чувствительного элемента алмазного МФП; 4 – индиевые столбики; 5 – чувствительные площадки кремниевого мультиплексора; 6 – кремниевый мультиплексор; 7 – падающее излучение; 8 – отфильтрованное излучение; 9 – площадки нижней поверхности алмазной пластины 2, легированные бором.

выдает электрический сигнал на системы отображения информации, при этом изготавливается он на основе технологии комплементарный металл–окисел–полупроводник.

Двухспектральный алмазный гибридный фотоприемник (рис. 2) работает следующим образом. При подаче на электрод 1 широкополосного излучения 7 его УФ-составляющая поглощается и на чувствительных элементах алмазного МФП (1, 2, 3) возникает фототок, который через четные или нечетные индиевые столбики 4 поступает на кремниевый мультиплексор 6 и детектируется как ультрафиолетовый сигнал. Инфракрасное излучение 8 без поглощения проходит через окна верхнего электрода 1 и попадает на легированные бором площадки 9, где поглощается, и на чувствительных элементах алмазного МФП (1, 2, 3) возникает фототок, который через нечетные или четные индиевые столбики 4 поступает на кремниевый мультиплексор 6 и детектируется как ИК-излучение.

Для определения параметров МФП было изготовлено электронное обеспечение макета фотоприемного модуля. Структурная схема макета

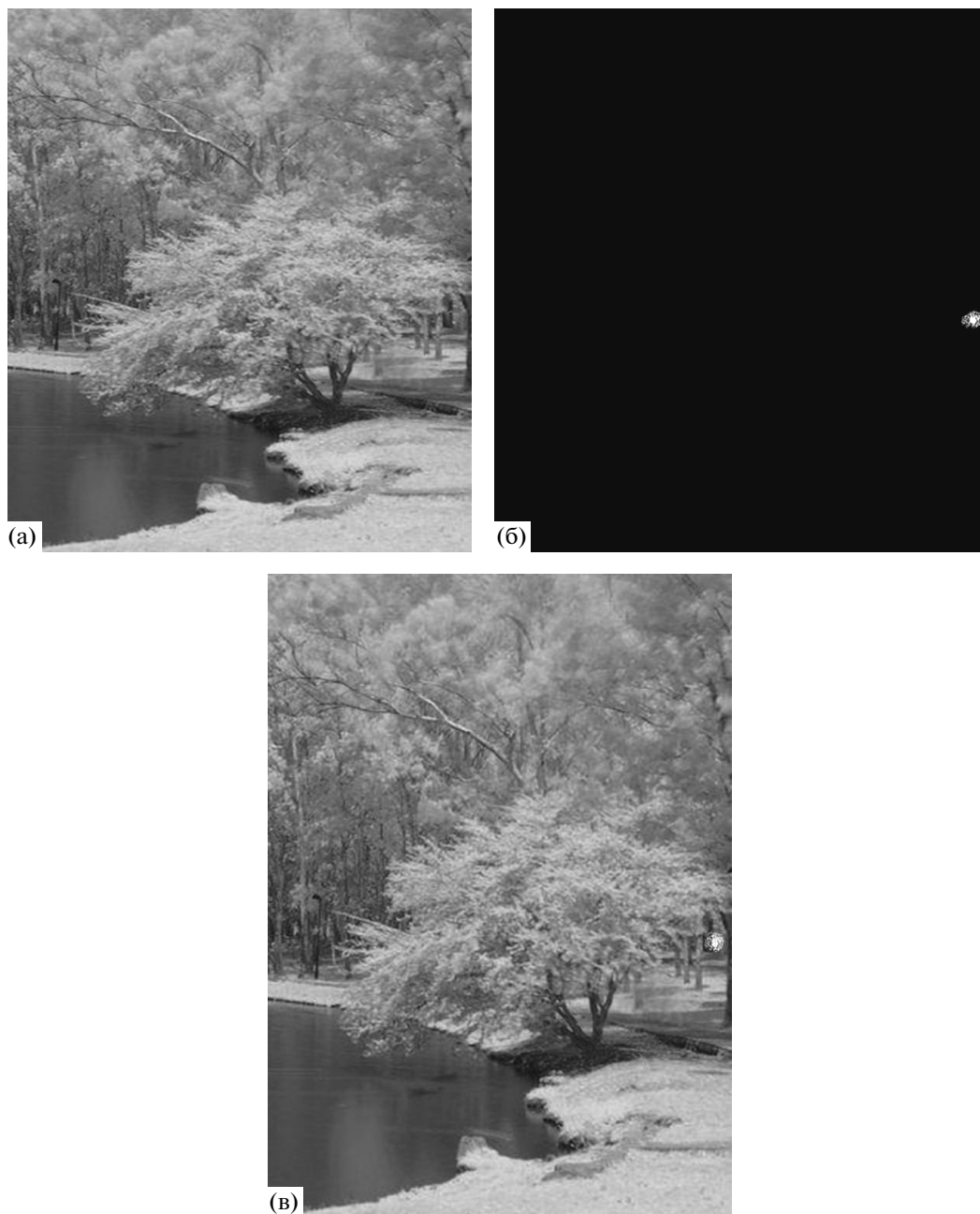


Рис. 3. Изображение костра в ИК- (а) и УФ-спектре (б), в – суммарное ИК- и УФ-изображение этого участка.

состоит из следующих элементов: алмазный УФ-фотоприемный модуль; ИК-фотоприемный модуль; мультиплексор; источник питания алмазного УФ-фотоприемного модуля; источник питания ИК-фотоприемного модуля; источник питания электронного обеспечения; контроллер электронного обеспечения; блок связи с внешним устройством.

Изготовленный по данной базовой технологии макет МФП был подвергнут испытаниям и показал следующие технические характеристики.

Спектральный диапазон чувствительности, мкм: УФ-канал 0.19–0.23, ИК-канал 0.8–3.3. Порог чувствительности, Вт/Гц^{1/2}: УФ-канал $9 \cdot 10^{-12}$, ИК-канал $6 \cdot 10^{-10}$.

В качестве примера мы приводим съемку нашим прибором участка леса на берегу озера, где горит костер. Рисунок 3а – изображение в ИК-спектре, рисунок 3б – изображение костра в УФ-спектре (в правой части снимка яркое пятно). На рис. 3в представлено суммарное ИК- и УФ-

изображение этого участка, полученное нашим прибором.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства и промышленности и торговли РФ (госконтракт № 11411.1006800.11.066).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фещенко В.С., Алтухов А.А., Митягин А.Ю. и др.* // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 6. С. 764.
2. *Levine B.F., Bethca C.G., Glodovsky K.G., et al.* // *Semicond. Sci. Technol.* 1991. V. 6. P. 114.
3. *Гуляев Ю.В., Митягин А.Ю., Чучева Г.В. и др.* Гибридная фоточувствительная схема (ГФС). Заявка на патент РФ № 2012124726 от 15.06.2012.
4. *Гуляев Ю.В., Митягин А.Ю., Чучева Г.В. и др.* Гибридная фоточувствительная схема (ГФС). Заявка на патент РФ № 2012141252 от 27.09.2012.