

# НОВЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ ПЛАМЕНИ

Несмотря на то, что разработка датчиков, преобразующих излучение пламени в электрический сигнал с помощью различных приемников излучения, ведется уже более полувека и за это время официально признаны сотни изобретений, работы по этому техническому направлению активно продолжают и сегодня. Дело в том, что объект исследования оказался сложным, многоликим, изменяющимся во времени, во многом непредсказуемым и стохастическим. Решить эту проблему раз и навсегда и определенным способом вряд ли возможно. К тому же в настоящее время она свелась не столько к обнаружению пламени, сколько к обеспечению нечувствительности извещателя к многочисленным постоянно возникающим оптическим естественным и промышленным помехам. В ОАО "НИИ "Гириконд" впервые в отечественной и зарубежной практике предложен извещатель пламени с новым инфракрасным многоспектральным матричным полупроводниковым преобразователем в качестве приемника излучения, который выполнен на основе пленочного поликристаллического полупроводникового материала и определил ряд существенных достоинств извещателя пламени.

При обилии патентов и изобретений и явной востребованности "продукта" число фирм, успешно работающих на мировом рынке датчиков пламени, оказалось весьма ограниченным. К ним в первую очередь относятся Detector Electronics (Det-tronics) и Spectrex (США), а также Siemens Building Technologies Cerberus Division (Швейцария). Тем не менее, уже выработано несколько основополагающих принципов идентификации пламени, которые стали классическими и используются большинством специализированных фирм. Это принципы частотной и спектральной селекции источников излучения.

В частотном принципе идентифицирующим признаком является наличие низкочастотных колебаний интенсивности излучения от очага пламени. При спектральной селекции идентификация пламени осуществляется по наличию в спектре излучения контролируемого источника спектральных полос, характерных для продуктов, образующихся при горении.

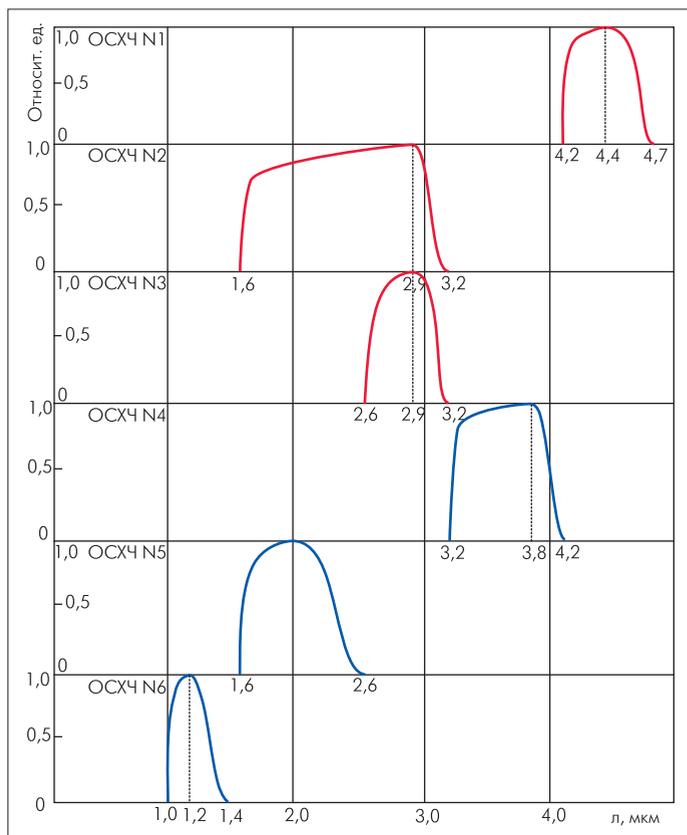
Н.Горбунов, С.Варфоломеев,  
Л.Дийков, Ф.Медведев

Хорошо известно, что основные функциональные параметры, принципы выделения излучения пламени на фоне оптических помех, логика электронной обработки первичных сигналов, эксплуатационные и конструктивные характеристики датчиков всецело определяются электрическими, фотоэлектрическими, оптическими и конструктивными особенностями приемника излучения. Именно приемник излучения – главный функциональный элемент датчика, определяющий его конфигурацию, потребительские свойства и способность конкурировать с аналогами.

Так, для реализации частотного принципа идентификации пламени необходимо иметь приемник излучения, способный фиксировать низкочастотные колебания пламени (от 2 до 20 Гц). Популярность частотного метода связана с тем, что в очагах пожара, как правило, имеют место низкочастотные колебания интенсивности излучения пламени, а изменение интенсивности излучения – необходимое условие для работы подавляющего большинства приемников излучения, будь то пироприемник, фотодиод или фоторезистор. Определенным преимуществом обладают пироприемники – широкополосные приемники ИК-излучения. Ведущие иностранные производители используют их практически во всех своих разработках [1–3]. Однако всем использующим пироприемник датчикам пламени для надежной его идентификации требуется от единиц до десятков секунд. Специальные режимы настройки датчика способны обеспечить минимальное время срабатывания 25–30 мс, но ценой резкого снижения чувствительности и помехозащищенности. Наконец, частотный метод идентификации абсолютно непригоден для обнаружения тлеющих очагов пожара.

Для реализации принципа спектральной селекции, как правило, используется несколько приемников, способных реагировать на излучение в различных участках спектров излучения источников. Простейший вариант спектральной селекции состоит в том, что для приемника излучения выбирается узкий диапазон спектральной чувствительности, точно совпадающий с одной из спектральных полос излучения пламени, как правило, с максимумом на 4,4 мкм. В этом случае можно уверенно регистрировать пламя при горении только углеродсодержащих химических веществ. Более сложная комбинация приемников излучения позволяет регистрировать не только излучение пламени, но и излучение оптических помех [4–7]. Следует подчеркнуть, что до последнего времени метод спектральной селекции применялся как дополнительная мера обеспечения помехозащищенности извещателей, для которых основным принципом обнаружения пламени оставался частотный.

В ОАО "НИИ "Гириконд" для датчика пламени был предложен в качестве приемника излучения инфракрасный, многоспектральный, матричный полупроводниковый преобразователь на основе поли-



**Рис. 1. Относительные спектральные характеристики чувствительности (ОСХЧ) элементов многоспектрального полупроводникового матричного преобразователя**

кристаллических пленок из твердых растворов химических соединений групп  $A^4B^6$  и  $A^2B^6$ , например селенида свинца и кадмия [8–13], при концентрации последних от 0,1 до 20 мол. %. Главное достоинство этого преобразователя в том, что для его работы не требуется модуляции излучения от объекта обнаружения, а спектральные характеристики чувствительности каждого элемента (ФЧЭ) совпадают с характерными спектрами излучения различных типов очагов пожара. Это позволяет в полной мере использовать спектральный метод идентификации и решить целый ряд технических проблем, преодоление которых до последнего времени было затруднено или невозможно.

При этом одной из насущных проблем рассматриваемого технического направления является разнообразие требований, постоянно возникающих со стороны потребителя, которому нужны дешевые, малогабаритные, надежные датчики, полностью адаптированные к конкретным условиям эксплуатации и которые можно применять не только на стратегически важных объектах, но и всюду, где появляются очаги пожара или существует угроза взрыва. Сейчас вопросы оптимальной адаптации решаются зарубежными и многими отечественными фирмами путем создания многочисленных вариантов конструкций и типов датчиков со специфическими и жестко определенными параметрами. Если учесть, что у большинства из них энергопотребление доходит до 10–15 Вт, масса до 6,5 кг, а стоимость до 2000 долл., то становится ясным, что их массовое использование невозможно. В связи с этим при создании новой генерации современных оптоэлектронных датчиков пламени специалисты "Гириконда" поставили и решили следующие задачи.

**Первая задача** – разработка серии пожарных извещателей, которые в зависимости от особенностей защищаемого объекта, ожидаемого характера возгорания, вида очага пожара и характери-

стик оптических фоновых помех, должны обеспечить адекватную реакцию на внешнее излучение.

**Вторая задача** – разработка извещателей, способных реагировать на первичные фазы взрывного процесса.

**Третья задача** – разработка извещателей пламени, способных реагировать на наличие неколеблющегося пламени, например, пламени в газовых факелах или в очагах пожара с большой площадью возгорания.

**Четвертая задача** – обеспечение работы извещателей пламени по очагам пожара при горении химических веществ, не содержащих углерод.

**Пятая задача** – обнаружение очагов пожара вида ТП-2 и ТП-3 (тление древесины и хлопка).

**Шестая задача** – повышение чувствительности извещателей по отношению к очагам пожара вида ТП-1, ТП-4 и ТП-5 (горение древесины, полимерных материалов и горюче-смазочных материалов с выделением дыма).

**Седьмая задача** – повышение чувствительности извещателей по отношению к очагам пожара вида ТП-6 (горение горюче-смазочных материалов без выделения дыма).

**Восьмая задача** – повышение помехозащищенности извещателей.

**Девятая задача** – разработка серии пожарных извещателей, конкурентоспособных по масштабам потребления в отношении альтернативных типов пожарных извещателей (например, извещателей дыма или тепловых извещателей).

**Десятая задача** – обеспечение высокой надежности работы извещателей.

Решение этих задач стало возможным за счет того, что прием и прямое преобразование в электрическую энергию ИК-излучения от очагов пожара, первичных стадий взрывного процесса и фоновых оптических помех, формирование и выдача электрического сигнала о пожаре осуществляется одним, инфракрасным полупроводниковым многоспектральным матричным преобразователем. Матрица преобразователя содержит две панели элементов. При этом первую из панелей образуют элементы, генерирующие фотоЭДС и имеющие селективные спектральные характеристики чувствительности, которые соответствуют спектрам излучения от одного или нескольких типов очагов пожара, например типа ТП1, ТП2, ТП3, ТП4, ТП5, ТП6. Вторую панель образуют элементы, генерирующие фотоЭДС и имеющие селективные спектральные характеристики чувствительности, соответствующие спектрам излучения фоновых оптических помех, например Солнцу, искусственным источникам освещения, излучению электросварки, отопительных батарей и нагревательных приборов. За счет выбора способа внутренней коммутации осуществляется отдельно сложение фотоЭДС от элементов первой панели, реагирующих на излучение очагов пожара, и фотоЭДС от элементов второй панели, реагирующих на оптические

**Таблица 1. Комбинации элементов**

Тип очага пожара по ГОСТ Р 50808-96	Номер вида ОСХЧ элемента согласно рис. 1					
	1	2	3	4	5	6
ТП-1, ТП-4, ТП-5, взрыв		+				
ТП-2, ТП-3	+			+		
ТП-6	+		+			
Горение веществ, не содержащих углеродородов, взрыв			+			
Оптические помехи в виде излучения солнца, люминесцентных ламп, электросварки						+
Оптические помехи в виде излучения от нагретых тел и ламп накаливания				+	+	

Таблица 2. Сравнение параметров оптоэлектронных датчиков

Параметр	Det-tronics	Det-tronics	Det-tronics	Siemens Cerberus Division	Spectrex Cedarrove NJ	НИИ Гириконд
Тип извещателя	U7602 УФ	U7698 ИК	U7652 УФ/ИК	S121,122 ИК	20/201 ИК	НАБАТ ИК
Тип приемника излучения	Фотоэлемент УФ-излучения	Пироприемник	Фотоэлемент УФ-излучения. Пироприемник	Пироприемник	Пироприемник	Полупроводниковый многоспектральный фотоэлемент
Принцип идентификации. Спектральный диапазон, мкм	Колебание пламени. 0,18–0,24	Колебание пламени. 4,2–4,7	Колебание пламени. 0,18–0,24, 4,45	Колебание пламени. 4,4, 4,2–4,7	Колебание пламени. 4,0–5,0	Согласно табл. 1
Чувствительность к очагу пожара вида ТП-1, ТП-4, ТП-5, м	6–27	6–25	15	18–25	60	25–60
Чувствительность к очагу пожара вида ТП-2, ТП-3	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ДА
Взрывоподавление. Достижимое быстродействие, мс	Ограничено. 30	Ограничено. 30	Ограничено. 30	НЕТ 3000	НЕТ 5000	ДА 0,1
Чувствительность к горению веществ, не содержащих углеводороды	ДА	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ДА
Устойчивость к модулированному ИК-излучению	ДА	НЕТ	ДА	НЕТ	НЕТ	ДА
Устойчивость к солнечной засветке или электросварке	НЕТ	ДА	ДА	ДА	ДА	ДА
Способность регистрации излучения от пламени газовой горелки	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	ДА
Потребляемая мощность, Вт	2–4,5	2–4,5	2–5	50 мВт	4	30 мВт
Максимальная масса, кг,	4,5	4,54	6,3	2	3,5	0,3
Рабочий температурный диапазон, °С	-40 ... 75	-40 ... 75	-40 ...75	-20 ...75	- 40 ...75	-60 ...80
Вид и уровень взрывозащиты. Взрывонепроницаемая оболочка (ВО), искробезопасная цепь (ИЦ)	1ExdII BT6 ВО	1ExdII BT6 ВО	1ExdII B+H 2 T6 ВО	–	1ExdII B+H 2 T6 ВО	1ExibII CT6 ИЦ
Степень защиты оболочки	IP66	IP66	IP66	–	IP66	IP67

помехи. Встречное включение панелей, вычитание из первой суммы фотоЭДС второй суммы фотоЭДС и получение выходного разностного сигнала позволяет по его полярности определить, является ли он сигналом о пожаре (взрыве) или это оптическая помеха.

Спектральные характеристики чувствительности элементов панели преобразователя формируется таким образом, что длинноволновая граница спектральной чувствительности определяется составом полупроводникового материала, а коротковолновая граница – интерференционным оптическим фильтром. Твердые растворы химических соединений группы  $A^4B^6$  и  $A^2B^6$ , используемые для формирования элементов преобразователя, применены в виде тонких поликристаллических слоев, в которых потенциальный барьер, определяющий появление фотоЭДС элемента, сформирован планарным  $p-l$ -переходом. Быстродействие такой структуры на уровне 5–20 мкс.

Изготовление элементов панели и самого преобразователя – составная часть технологического процесса изготовления датчика в целом.

Разработана технология изготовления шести базовых типов элементов преобразователя, отличающихся видом относительной спе-

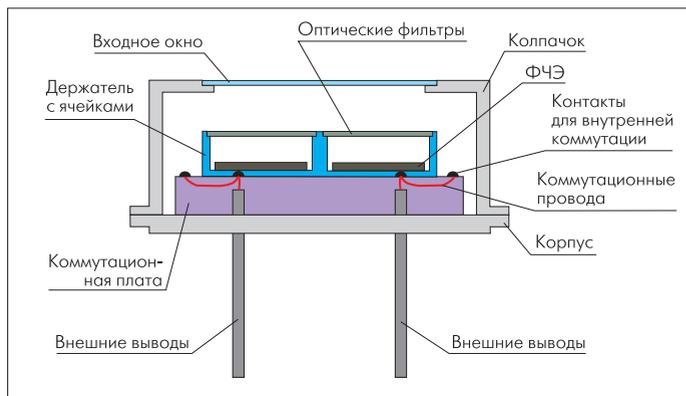


Рис.2. Многоспектральный полупроводниковый матричный преобразователь

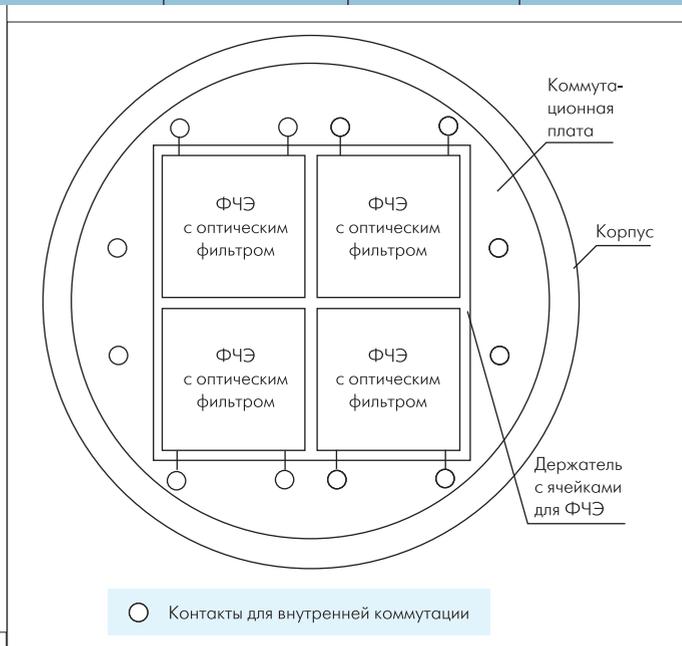


Рис.3. Расположение ФЧЭ в многоспектральном полупроводниковом матричном преобразователе.

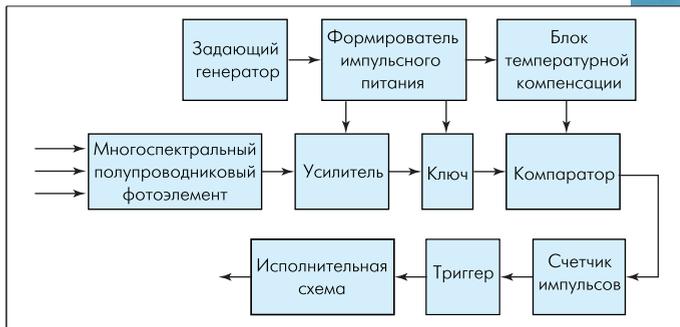
ктральной характеристики чувствительности (ОСХЧ) (рис.1). В табл.1 приведены возможные комбинации таких элементов, обеспечивающих адекватную реакцию датчика на угрозу взрыва или пожара для различных видов очагов пожара и различных типов оптических помех.

Многоспектральный полупроводниковый матричный преобразователь (рис.2–4) работает следующим образом. Излучение от внешних источников через входное окно попадает на группу элементов, размещенных в держателе с ячейками, которые закрыты оптическими фильтрами. Внешнее излучение не может попасть в каждую ячейку иначе, как только пройдя через соответствующий ей



оптический фильтр. Перед сборкой преобразователя уточняется, какой из предполагаемых видов очагов пожара должен контролировать датчик, при каком фоновом излучении и при каких возможных оптических помехах. С учетом этой информации осуществляется набор и коммутация элементов с соответствующими ОСХЧ. Результирующий сигнал подается на внешние выводы и далее на усилитель, коэффициент усиления которого определяет чувствительность датчика. С целью экономии энергопотребления в схеме извещателя (рис.5) реализован импульсный режим питания с помощью задающего генератора и формирователя импульсного питания. Основные узлы схемы активизируются периодически на 1 мс с периодом повторения 150 мс. В зависимости от назначения датчика длительность импульса и период повторения могут варьироваться в широких пределах, начиная от 100 мкс и 1,5 мс, соответственно. По окончании всех переходных процессов, связанных с включением питания, открывается ключ, пропускающий сигнал на компаратор. Компаратор сравнивает полезный сигнал с пороговой величиной, создаваемой блоком температурной компенсации, и при превышении порога выдает сигнал логической единицы. По завершении описанных процессов питание выключается и схема переходит в режим ожидания. При наличии очага пожара сигнал с компаратора поступает на счетчик, который при поступлении 15 последовательных импульсов переключает триггер в состояние, соответствующее режиму "Пожар". Исполнительная схема сигнализирует о тревожном режиме либо в виде увеличения тока потребления от 75 мкА до 20 мА, либо в виде замыкания контактов реле.

Внутренняя коммутация элементов и, как следствие, простота обработки сигналов, поступающих с преобразователя, минимизируют массогабаритные характеристики датчиков, максимально приближая их по этим показателям к альтернативным типам извещателей. Одновременно электронные схемы и рабочие электрические режимы датчика адаптируются к протоколу существующих приемно-контрольных приборов. Это, в свою очередь, позволяет без дополнительных затрат подключать датчики пламени в существующие системы обеспечения пожаробезопасности. В табл.2 приводятся



**Рис.5. Функциональная блок-схема извещателя**

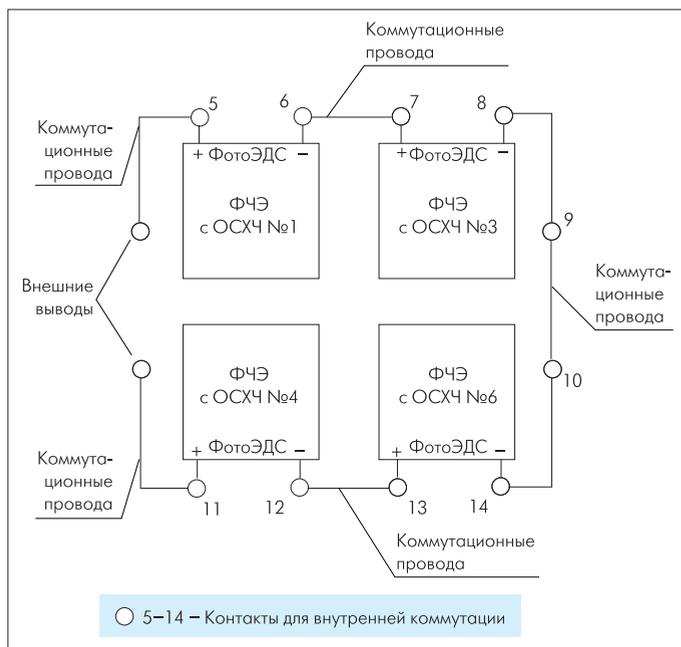
сравнительные параметры вновь разработанных оптоэлектронных датчиков и их зарубежных аналогов [14–16].

Анализ данных таблицы позволяет сделать выводы, что разработанные датчики:

- обладают гораздо большим числом вариантов относительных спектральных характеристик чувствительности, а значит лучше адаптированы к возможным вариантам очагов пожара;
- имеют более высокую чувствительность, в частности, по отношению к наиболее вероятному виду очага пожара ТП-5;
- позволяют обнаруживать очаги пожара вида ТП-2 и ТП-3;
- позволяют в полной мере осуществлять режим взрывоподавления;
- способны обнаруживать очаги пожара при горении веществ, не содержащих углеводороды;
- устойчивы к воздействию модулированного ИК-излучения, излучению Солнца и электросварки;
- способны осуществлять контроль за пламенем газовой горелки;
- обладают малым энергопотреблением и высокими массогабаритными характеристиками;
- работают в широком температурном диапазоне;
- обладают высокой степенью защиты оболочкой и наиболее эффективным видом взрывозащиты – "искробезопасная цепь".

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент USA № 005850182A от 15.12.98, Detector Electronics.
2. Патент USA № 5804825 от 08.09.98, Detector Electronics.
3. Патент WO № 9506927 от 09.03.95, Shell Internationale Research.
4. Патент UK № 2281615(A1) от 03.09.93, Torn Securiti Limited.
5. Патент US 005612676A . 18.02.97.
6. Патент US 6064064 от 16.05.00, Fire Sentry.
7. Патент US 006150659 от 21.11.00, General Monitors.
8. Дийков Л.К., Медведев Ф.К. и др. Электронно-оптические извещатели пламени. – Электроника: НТБ, 2000, №6.
9. Горбунов Н.И., Дийков Л.К., Медведев Ф.К. Варфоломеев С.П., Марахонов В.М. Фотолюминесцентный излучатель, полупроводниковый фотоземлет и оптрон на их основе. Патент на полезную модель №37575, приоритет 05.02.04.
10. Извещатель пожарный пламени инфракрасный, многодиапазонный "НАБАТ" АДПК.425241.001ТУ.
11. Патент на промышленный образец, №53744, приоритет 18 июля 2003, заявитель ОАО "НИИ Гириконд".
12. Горбунов Н.И., Медведев Ф.К., Дийков Л.К., Варфоломеев С.П. Новые оптроны. – Компоненты и технологии, 2004, №6.
13. Горбунов Н.И., Медведев Ф.К., Дийков Л.К., Варфоломеев С.П. Датчики для систем обеспечения пожаро-взрывобезопасности. – Датчики и системы, 2004, №6.
14. www.sbt.siemens.com/FIS/productdoc/
15. www/spectrex-inc.com
16. www.detrionics.com



**Рис.4. Вариант внутренней коммутации ФЧЭ, используемый для обнаружения очага пожара вида ТП-6 при наличии в поле зрения извещателя высокотемпературных объектов излучения от Солнца и ламп накаливания**