

	$U_{кх}, В$	$I_{кх}, А$	$U_{opt}, В$	$I_{opt}, А$	$P_{max}, Вт/м^2$
Модуль 1	3,10	0,270	2,4	0,256	175
Модуль 2	3,15	0,275	2,45	0,260	182

– модуль 2 (для ФП с размерами $15,20 \times 46,05 \text{ мм}^2$) оказался более технологичным (отсутствует процесс порезки ФП) и менее трудоемким (упрощается процесс позиционирования ФП на носитель), количество ФП – 5 шт. (у модуля для ФП с размерами $15,20 \times 15,35 \text{ мм}^2$ – 15 шт);

– коэффициент заполнения модуля 1 (для ФП с размерами $15,20 \times 15,35 \text{ мм}^2$) составляет 0,92;

– коэффициент заполнения модуля 2 (для ФП с размерами $15,20 \times 46,05 \text{ мм}^2$) составляет 0,95

С учетом полученных результатов для дальнейших исследований был выбран модуль 2 (для 5 ФП с размерами $15,20 \times 46,05 \text{ мм}^2$).

Как уже упоминалось выше, одной из основных задач при разработке СБ является снижение веса на единицу мощности [6]. Поэтому, в процессе разработки мо-

дулей ФП на основе полиимидного носителя, были также проведены исследования массогабаритных параметров модулей ФП, для чего использованы фотопреобразователи различной толщины: $250 \pm 50 \text{ мкм}$ и $400 \pm 50 \text{ мкм}$. Результаты проведенных исследований приведены в табл. 3.

Таким образом, для разработанной конструкции опытного образца модуля 2 фотопреобразователей обеспечены достаточно высокие параметры: коэффициент заполнения модуля не менее 0,95; вес модуля без защиты от воздействия вредных факторов космического – $0,05 \pm 0,08 \text{ г/см}^2$; выходная мощность – $175 \pm 185 \text{ Вт/м}^2$. С целью дальнейшего повышения выходной мощности при использовании в составе СБ КА „Сич-2” продолжают работы по оптимизации конструкции и межмодульной коммутации.

Массогабаритные показатели модулей ФП

№ п.п.	Параметр	Тип модуля	
		Модуль с ФП толщиной $250 \pm 50 \text{ мкм}$	Модуль с ФП толщиной $400 \pm 50 \text{ мкм}$
1	Габаритные размеры модуля, мм	46,5×80,2	
2	Габаритные размеры ФП, мм	46,05×15,20	
3	Вес одного ФП, г	$0,365 \pm 0,073$	$0,58 \pm 0,073$
4	Вес полиимидного носителя, г	~0,35	
5	Вес модуля, г	2,0–2,2	3,1–3,3
6	Коэффициент заполнения модуля	0,95	
7	Количество ФП, шт.	5	

ЛИТЕРАТУРА:

1. Итоги науки и техники. Исследование космического пространства, том 13С (солнечные батареи в условиях воздействия космической радиации). – Москва, 1979. – 129с.
2. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование. К.В. Безручко, Н.В. Белан, Д.Г. Белов, С.В. Губин, В.И. Драноский, В.С. Кривцов, И.Т. Перекопский, И.Б. Туркин / Под ред. акад. НАН Украины С.Н. Конюхова. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т „Харьк. авиац. ин-т”, 2000. – 515с.
3. Колпун М.М. Солнечные элементы. – Наука, 1987. – 192с., ил. – (Серия „Планета Земля и Вселенная”)

4. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. Пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1983. – 360с.
5. А.М. Васильев, А.П. Ландсман Полупроводниковые фотопреобразователи. – М.: Сов. радио, 1971. – 248с.
6. Бортовые энергосистемы космических аппаратов на основе солнечных и химических батарей. Ч.1 Н.В. Белан, К.В. Безручко, В.Б. Елисеев, В.В. Ковальский, В.А. Лелин, В.П. Постаногов, А.И. Федоровский. Учеб. Пособие. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1992. – 191с.
7. Г. Стоффи, Д. Ли, К. Невилл Новые линейные полимеры. Пер. с англ. – М.: Химия, 1972. – 280с.
8. К.-У. Бюллер Тепло- и термостойкие полимеры; Пер. с нем. Под ред. Я.С. Выгодского. – М.: Химия, 1984. – 1056с.

УДК 621.362

ТРАДИЦИОННАЯ И НОВАЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЭО

К.т.н. Ю.Е. Николаенко, к.т.н. Р.И. Плащенков, Министерство промышленной политики.

Описаны особенности и недостатки традиционной технологии изготовления термоэлектрических охладителей. Приведена схема нового технологического процесса, позволяющего существенно повысить производительность труда при изготовлении термоэлектрических охладителей в серийном производстве.

Для охлаждения и термостабилизации элементов радиоэлектронной аппаратуры, в частности фоточувствительных элементов фотоприемников, широко использу-

ются термоэлектрические охладители (ТЭО) [1]. Качество ТЭО во многом определяется технологией их изготовления [2, 3]. Существующие способы изготовления ТЭС характеризуются достаточно высокой трудоемкостью особенно при изготовлении многокаскадных охладителей.

На рис. 1 приведена схема традиционного технологического процесса изготовления ТЭО, широко применяемого в серийном производстве. Несмотря на широкое применение данный технологический процесс отличается высокой трудоемкостью.

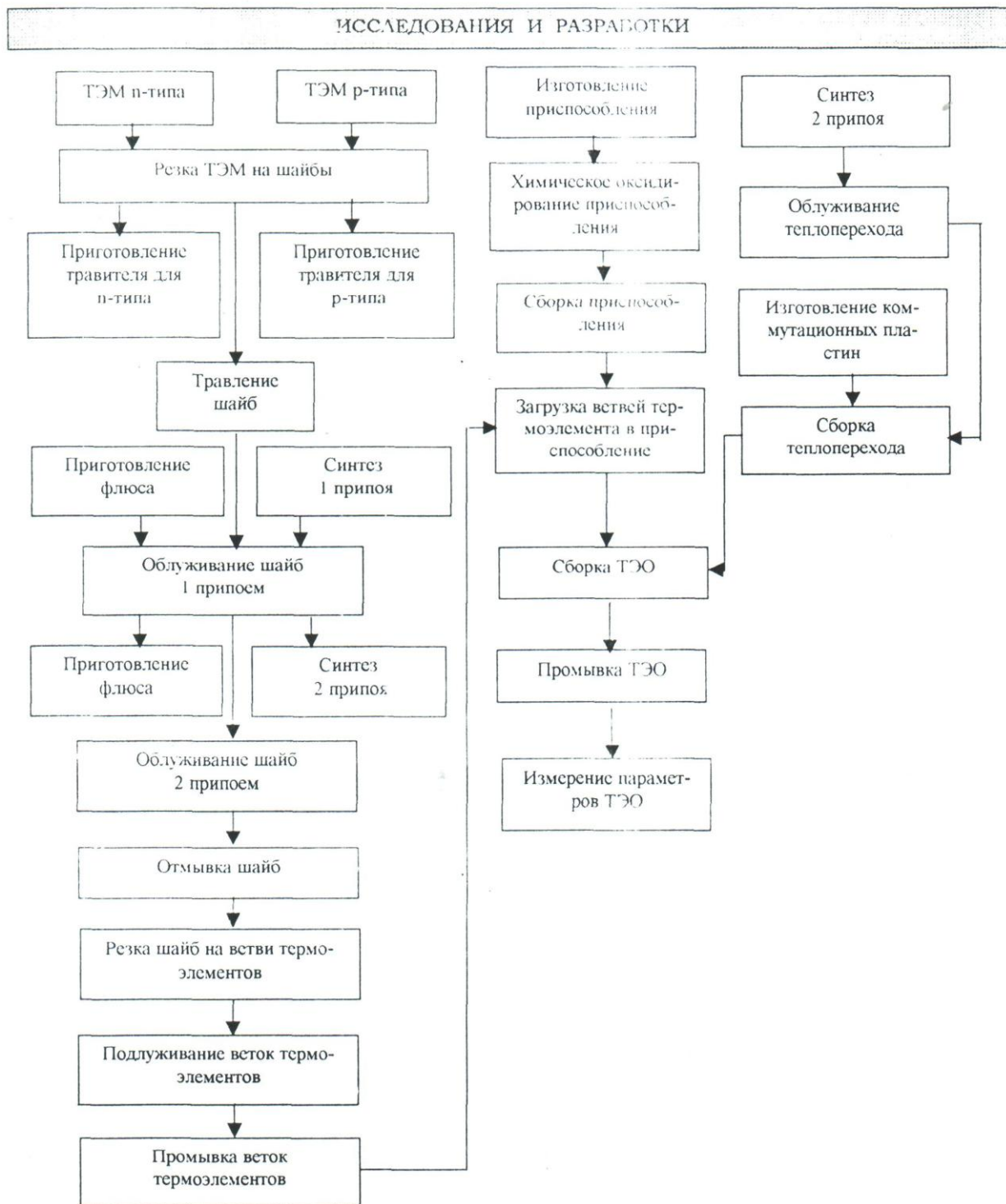


Рис. 1. Последовательность технологических операций традиционной технологии изготовления ТЭО.

Высокая трудоемкость данного технологического процесса определяется, в основном, использованием при сборке ТЭО двухприпоевой системы, т.е. шайба перед разрезанием на ветви облуживается сначала высокотемпературным припоем, а затем – коммутационным припоем. Облуживание шайбы является одним из наиболее ответственных процессов в технологии изготовления ТЭО, т.к. наличие переходных процессов в зоне облуживания может значительно уменьшить эффективность охлаждения.

Позтому к первому припою, которым вначале облуживается шайба, предъявляется ряд специфических требований:

- припой не должен образовывать с материалом полупроводника соединений, имеющих высокое омическое сопротивление;
- при проникновении в полупроводник он не должен изменять его электрические, механические и тепловые свойства;

полу
ния;
око
(90%
623 К
что
полу
прип
разн
высо
лужи
темпе
как п
мутац
дуаль
просу
резки
ров. Е
ходи
турой
поско
сторо
вом п
будет
Подсу
суши

способ
цилин
рами,
сечени
да. На
ход. Н.
образу
рая пр
соотве
га.

- иметь температуру плавления не выше 723 К;
- в расплавленном состоянии хорошо смачивать полупроводник;
- быть жидкотекучим при температуре плавления;
- иметь небольшую разницу температур начала и окончания плавления;
- обладать достаточной прочностью.

Этим требованиям отвечает припой висмут-сурьма (90% висмута и 10 %сурьмы) с температурой плавления 623 К. Одним из недостатков этого припоя является то, что из-за высокой температуры плавления не удастся получить равномерное по толщине облуживание шайб: припой по поверхности шайбы растекается волнообразно, что в дальнейшем существенно сказывается на высоте ветви термоэлемента.

После облуживания первым припоем шайба подлуживается с обеих сторон коммутационным припоем с температурой плавления 408 К. Следует отметить, что как первый (высокотемпературный), так и второй (коммутационный) припой приходится готовить индивидуально, применяя установку синтеза.

Подлуженная таким образом шайба промывается, просушивается, наклеивается на оправу и на установке резки струной разрезается на ветви необходимых размеров. Вырезанные по размеру ветви термоэлементов необходимо пролудить коммутационным припоем с температурой плавления 408 К.

Процесс подлуживания ветвей очень трудоемкий, поскольку необходимо каждый образец подлудить с двух сторон индивидуально с точно дозированным количеством припоя (см. рис. 2). Недостаток или излишек припоя будет отрицательно влиять на дальнейшую сборку ТЭО. Подлуженные таким образом ветви промываются, просушиваются и передаются на операцию сборки ТЭО.

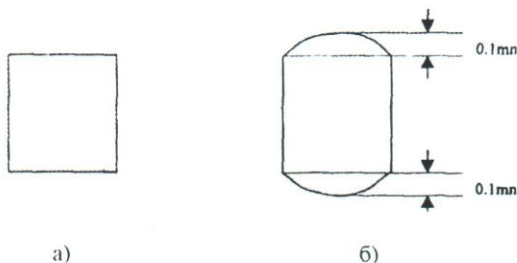


Рис. 2. Форма ветви ТЭО до облуживания (а) и после облуживания коммутационным припоем (б).

Термоохладитель собирается в специальном приспособлении, представляющем собой дюралюминиевый цилиндр (см. рис. 3) с поперечными и продольными пазами, которые выполнены с шагом, соответствующим сечению ветви термоэлемента и топологии теплоперехода. На дно цилиндра устанавливают нижний теплопереход. На нем с помощью набора лезвий и гребенок (рис. 4) образуют конструкцию для ветвей термоэлемента, которая представляет собой бункер с ячейками. Сечение ячеек соответствует поперечному сечению ветви термоэлемента.

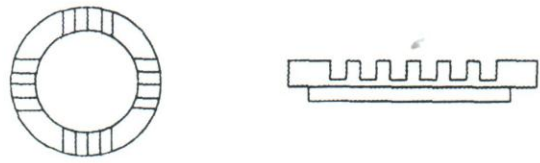


Рис. 3. Приспособление для сборки ТЭО: вид сверху (а); вид сбоку (б).

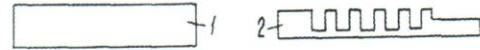


Рис. 4. Технологические вспомогательные элементы приспособления: 1 - лезвие; 2 - гребенка.

Поскольку лезвия и гребенки выполняют из стали 45Г, после изготовления их необходимо подвергнуть химическому оксидированию, чтобы в процессе пайки они не облуживались коммутационным припоем.

После загрузки ветвей термоэлемента в ячейки на них сверху устанавливают верхний теплопереход, который сверху нагружают грузом. Применение такого приспособления обеспечивает одновременную коммутацию (пайку) всех ветвей термоэлемента с верхним и нижним теплопереходами. Коммутация (пайка) осуществляется в керамическом цилиндре с глицирином, нагретым до температуры 423-433 К. После пайки приспособление с ТЭО извлекают из цилиндра, охлаждают до температуры 333-343 К, промывают в горячей воде и путем вытягивания сначала всех лезвий, а потом всех гребенок извлекают ТЭО, который после этого готов для окончательной промывки, сушки и измерения параметров.

После краткого описания традиционного метода сборки ТЭО отметим его недостатки:

- применение двухприпоечной системы облуживания шайб;
- необходимость синтеза высокотемпературного и коммутационного припоев;
- трудоемкий процесс подлуживания каждой ветви термоэлемента с двух сторон и невозможность дозирования припоя на боковых сторонах ветви термоэлемента, что в дальнейшем может приводить к непропаянным местам (при недостатке припоя) или закорачиванию термоэлементов (при его излишке);
- применение набора лезвий и гребенок в приспособлении приводит к тому, что при избытке припоя в области контакта теплопереход-ветвь он заполняет щели гребенки, заклинивает их, что в дальнейшем приводит к разрушению ТЭО при разборке приспособления и вытягивания лезвий и гребенок из собранного ТЭО;
- после 10-12 применений лезвий и гребенок устройство необходимо повторно подвергать химическому оксидированию для исключения их облуживания коммутационным припоем.

Учитывая приведенные недостатки традиционного метода сборки ТЭО, предлагается более усовершенствованный технологический процесс, позволяющий обеспечить значительное снижение трудозатрат на изготовления ТЭО. Схема нового высокопроизводительного технологического процесса приведена на рис. 5.

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

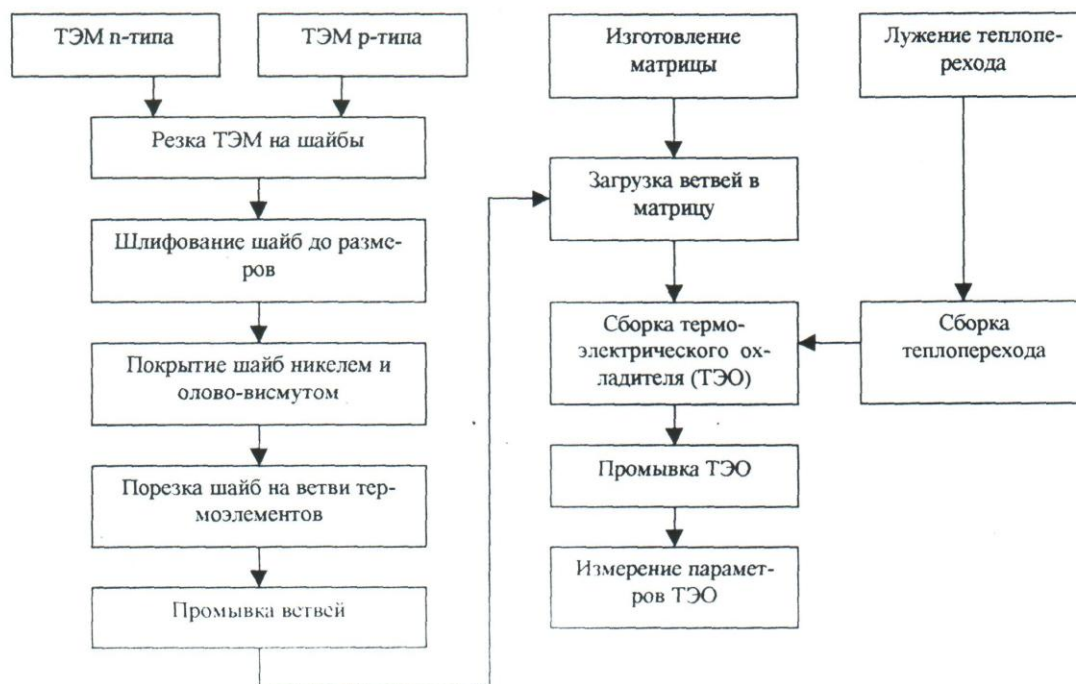


Рис. 5. Высокопроизводительный технологический процесс изготовления ТЭО.

Сущность предложенного технологического процесса состоит в том, что после получения резкой на станке шайб, последние шлифуются с двух сторон на 5-10 мкм для снятия поврежденного слоя и покрываются слоем никеля толщиной 8-10 мкм. Такое покрытие обладает достаточной прочностью, не изменяет тепловые свойства полупроводника, не образует с материалом полупроводника соединений, имеющих значительное омическое сопротивление. После покрытия слоем никеля шайба покрывается тонким (2-3 мкм) слоем олова-висмута и передается на резку на ветви. Полученные ветви после промывки и сушки загружаются в устройство для сборки ТЭО, которое коренным образом отличается от описанного выше тем, что изготовлено из резины и представляет собой матрицу (см. рис. 6) с множеством ячеек, расположенных таким образом, что повторяют топологию необходимого ТЭО. Ячейки заполняются в шахматном порядке ветвями p- и n-типа проводимости.

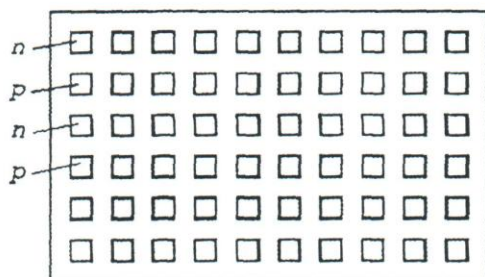


Рис. 6. Матрица для установки ветвей термоэлементов.

Загруженные в матрицу ветви термоэлементов с помощью нагревательного элемента подлуживаются коммутационным припоем. В данном случае возможно применение любого стандартного припоя, поскольку никелевое покрытие является защитным слоем и не позволяет диффундировать элементам припоя в полупроводниковый материал. Благодаря тонкому слою олова-висмута на поверхности ветвей облуживание коммутационным припоем осуществляется равномерно по всей поверхности.

На облуженную таким образом матрицу устанавливают теплопереход, матрица переворачивается на 180 градусов, кладется теплопереходом на термостат с температурой в пределах 470-480 К, выдерживается до момента расплавления припоя (0,5-1,0 мкм), снимается с термостата и остывает до 313-323 К. Полученный полумодуль вынимается из матрицы, вторая сторона ветвей подлуживается коммутационным припоем, на нее устанавливается второй теплопереход и аналогично первому припаивается к полумодулю.

Процесс сборки ТЭО заканчивается промывкой в горячей воде, продувкой сжатым воздухом и сушкой, после чего проверяются его термоэлектрические параметры.

Как видно из вышеизложенного, предложенный технологический процесс по сравнению с традиционным имеет ряд преимуществ:

- отсутствует операция двухприпойного облуживания шайб (вместо этого можно использовать любой стандартный припой) и нет необходимости синтезировать высокотемпературный и коммутационный припой;

живани
чить ски
-
торое
либо ре
Г
успехом
ТЭО. В
наибол
собов с
цесс от
логиче
стандар
каскадо
стоимос

УДК 6
ОЦЕ
НОГ
ДРЕ
А.П.Ре
прибор

С
тора п
цпей п
ковольт
хощи
основе
постоян
мально
никами
кабеля
электри
обеспеч
ние 10
прочнос
техноло
(
рукции
разверн
располо
сместен
кладкой
жен св
раздел
кабеля
плату
ного ди
него не

(
беля в
ФДИ-А
- на ос
адгези
(БЮО)
числен

- отсутствует операция индивидуального подлуживания ветвей термоэлементов, что позволяет увеличить скорость подлуживания в 35-40 раз;

- использовано устройство для сборки ТЭО, которое позволяет собирать 130-160 модулей без каких-либо ремонтов или доработок.

Предложенный технологический процесс может с успехом использоваться для сборки многокаскадных ТЭО. В этом случае его преимущества проявляются в наибольшей степени. В отличие от существующих способов сборки ТЭО предложенный технологический процесс отличается высокой производительностью и технологичностью, позволяет применить для сборки один тип стандартного припоя, исключить многоразовый нагрев каскадов и, как следствие, существенно снизить общую стоимость ТЭО.

УДК 621.315.2/3-418

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПЛЕНОЧНОГО КАБЕЛЯ ДЛЯ МОДУЛЯ КРЕМНИЕВОГО ДРЕЙФОВОГО ДЕТЕКТОРА

А.П.Резник, Государственное предприятие Научно-исследовательский технологический институт приборостроения, г. Харьков.

Схемное решение кремниевого дрейфового детектора предусматривает использование для коммутации цепей переходного кабеля с керамической платой высоковольтного делителя напряжения многослойного помещающего высоковольтного кабеля на полиимидной основе [1]. Высоковольтный кабель коммутирует 13 цепей постоянного напряжения от -2400 В до -100 В. Максимальная разность потенциалов между смежными проводниками не превышает $\Delta U = 240$ В. Элементы изоляции кабеля в процессе эксплуатации подвергаются сильным электрическим и ионизирующим воздействиям и должны обеспечить длительную электрическую прочность в течение 10 лет. Кратковременная и длительная электрическая прочность кабеля зависят от принятых конструктивно-технологических решений и выбранных материалов.

Оптимизация исполнения кабеля привели к конструкции, в которой: проводящие элементы трасс и экрана развернуты в разные стороны, проводники слоя трасс располагаются строго в порядке возрастания напряжения смещения; слой трасс защищен диэлектрической прокладкой со стороны проводников, а слой экрана расположен сверху слоя трасс и обернут полиимидной основой разделительной прокладки на противоположных концах кабеля. Вывод защитного экрана кабеля на керамическую плату расположен на неотогнутой полоске фольгированного диэлектрика экрана в плоскости трассы возле крайнего низковольтного проводника.

Слой трасс и защитный экран высоковольтного кабеля выполнены на основе фольгированного диэлектрика ФДИ-А50 (ТУ БУО.037.042), а изолирующие прокладки - на основе полиимидной пленки с одно- и двусторонним адгезионным покрытием (ПА (БУО.037.122 ТУ) и АПТ (БУО.037.122 ТУ)).

С помощью аналитических методов и методов численного моделирования в многослойных средах был

Для реализации описанной технологии в серийном производстве разработана и изготовлена специальная технологическая оснастка.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алиева Т.Д., Ахундова Н.М., Абдинов Д.Ш. Термоэлектрический охладитель на уровень температуры ~200 К для инфракрасных фотоприемников // Приборы и техника эксперимента. - 1999. - № 2. - С. 164-165.
2. Опыт разработки слаботочных термоэлектрических микроохладителей / В.А.Семенов, В.В.Мельников, Н.П. Красильников и др. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. - 1983. - Вып. 3. - С. 78-87.
3. Патент України № 1195, МПК H01L 35/34. Спосіб збирання термоелектричної батареї / Ю.В.Романік, В.О.Карчинський, С.І.Бідименко та інші. - Опубл. 30.12.93 р., бюл. №3.

проведен анализ распределения электрических полей многослойного высоковольтного пленочного кабеля, как для проводников контактной группы, расположенных в одной плоскости, а также для проводников расположенных под защитным экраном.

Для двухпроводной линии передачи с тонкими проводниками, расположенной на двухслойной подложке методом последовательных конформных преобразований было получено приближенное решение задачи распределения в ней электрического поля [2]. Расчеты показали, что при расстояниях больше 2000 мкм максимальные значения поля в линии передачи изменяются незначительно. Ширина проводников оказывает влияние на величину поля и ее целесообразно выбирать в пределах 300-450 мкм.

Наибольшие значения напряженности электрического поля $E_{\text{макс}}$ в кабеле ожидаются на краях проводников. Расчетные значения напряженности электрического поля между смежными проводниками контактной группы слоя трасс кабеля шириной 300 мкм с потенциалами $U_1 = -2400$ В и $U_2 = -2160$ В, при различных расстояниях D между проводниками были получены методом конечных элементов и приведены в табл.1.

Таблица 1

D, мкм	100	200	400	800	1200	1600	2000
$E_{\text{макс}}$, кВ/мм	4,9	3,2	2,9	1,5	1,0	0,8	0,8

Из таблицы 1 видно, что проводники контактной группы кабеля целесообразно размещать на расстоянии D=1200-2000 мкм друг от друга, поскольку $E_{\text{макс}}$ при этом имеет минимальные значения.

Долговременная электрическая прочность высоковольтного кабеля в основном определяется процессами