

А. В. ВОРОБЬЕВ¹, к. т. н. В. Д. ЖОРА²

Россия, г. Красногорск, ¹НПП «Поликом»,
Украина, г. Киев, ²НИИ микроприборов НТК «ИМК» НАНУ

E-mail: vdzhora@ukrpost.net

ГИБКИЕ ФОЛЬГИРОВАННЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ: КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Приведена классификация гибких фольгированных диэлектриков различных типов, проведен их сравнительный анализ. Выделен наиболее перспективный вариант изготовления безадгезивных фольгированных диэлектриков на полиимидном основании, получаемых нанесением полиимидного лака на металлическую фольгу.

Ключевые слова: гибкие фольгированные диэлектрики, лакофольговые диэлектрики, полиимидное основание, полиимидный лак, металлическая фольга.

Область применения гибких фольгированных диэлектриков постоянно расширяется. Если еще 30–40 лет тому назад основными потребителями таких материалов были изготовители гибких печатных плат [1], то в настоящее время они широко используются при изготовлении RFID-антенн, различного типа меток для защиты товаров от краж, гибких печатных кабелей [2], гибких полиимидных носителей (ГПН) [3, 4], гибких терморезисторов [5], мембран акустических преобразователей [6] и даже фотоэлектрических преобразователей [2]. Трудно назвать современную область науки и техники, в которой не используются фольгированные диэлектрические материалы. Это, как и ранее, радиоэлектроника, приборостроение, а также электроника в авиации, космонавтике, ядерных исследованиях и даже в медицине.

Гибкие фольгированные диэлектрики различаются структурным строением, материалами диэлектрического основания, металлического проводящего слоя и адгезива (при его использовании) и поставляются в виде листов или в рулонах. Поскольку для изготовления фольгированных диэлектриков применяется, с одной стороны, широкий спектр материалов основания, как правило полимерных, а с другой — различные металлические слои, то их сочетания обуславливают большое разнообразие изготавливаемых фольгированных материалов. Некоторые из них, например диэлектрики, фольгированные медью, на полиэфирном или полиимидном основании, выпускаются многими зарубежными и отечественными предприятиями, и потребитель может выбирать наиболее приемлемый вариант по техническим характеристикам, качеству и цене. Другие, напротив, представлены на рынке всего лишь одним производителем. Важно также отметить, что не все виды материалов, несмотря

на их большое разнообразие, отвечают требованиям потребителей, поэтому существует необходимость разработки новых фольгированных диэлектриков, отвечающих современным требованиям рынка как по качеству, так и по номенклатуре.

Целью данной работы является сравнительный анализ существующих гибких фольгированных диэлектриков и выбор наиболее перспективных направлений их применения и совершенствования.

Классификация гибких фольгированных диэлектриков

По своему структурному строению фольгированные диэлектрики могут быть двухслойными (безадгезивные материалы), трехслойными, имеющими структуру «металл — адгезив — полимер», и многослойными [7].

Безадгезивные фольгированные диэлектрики

В настоящее время безадгезивные фольгированные диэлектрики изготавливаются несколькими методами:

- напылением металлического слоя на полимерную пленку [8];

- нанесением на металлическую фольгу жидкого лака с последующим превращением его в полимерную пленку (лакофольговые диэлектрики) [9];

- напылением металлического слоя с последующим электрохимическим осаждением на него более толстого основного проводящего слоя [2];

- методом химической металлизации с последующим электрохимическим осаждением слоя [2].

Безадгезивные фольгированные диэлектрики с напыленным металлическим слоем, чаще всего алюминиевым, используются для радиационной защиты в скафандрах, электромагнитно-

го экранирования и изготовления мембран акустических преобразователей [10].

Однако такие металлические пленки имеют сравнительно малую толщину, как правило около микрометра. Важно отметить, что напыление является сравнительно дорогой операцией и ее использование в технологическом процессе может существенно повысить стоимость изготавливаемых изделий. Относительно дорогим является также метод с использованием процессов химического и электрохимического осаждения.

Трехслойные фольгированные диэлектрики

В трехслойных фольгированных диэлектриках используются адгезивы для склеивания (дублирования) полимерной пленки с фольгой. Правильный выбор адгезива, его толщины и обеспечение равномерности нанесения определяют качество трехслойного диэлектрика. Так, при малой толщине адгезива ухудшается сцепление полимера с металлом, а при слишком большой — появляется вероятность образования гофр и изломов в слое металла, что приводит к ухудшению физико-механических свойств фольгированного диэлектрика, например к снижению устойчивости к многократным перегибам. Следует отметить сравнительно невысокую термостойкость адгезивов, что сказывается на общей термостойкости фольгированного диэлектрика и изготавливаемых из него изделий, особенно в случае когда в качестве основания используется полиимид. Также адгезивы оказывают отрицательное влияние на электрические характеристики фольгированных диэлектриков. Применяются адгезивы как в жидком виде, так и, чаще всего, в виде пленок. Их выбор достаточно широк — используются полиэфирные, акриловые, эпоксидные, полиимидные и ряд других склеивающих материалов [1].

Многослойные фольгированные диэлектрики

Многослойные фольгированные материалы также изготавливают методом дублирования, например, когда к полимерному основанию с помощью адгезивов с обеих сторон приклеивают металлическую фольгу. Такие материалы применяются при изготовлении многослойных печатных кабелей, а также для изготовления радиочастотных меток защиты товаров от краж.

Другой, комбинированный, метод предполагает изготовление вначале безадгезивного двухслойного диэлектрика, к которому в последующем приклеивается еще один слой металлической фольги.

Материалы диэлектрического основания

В качестве диэлектрического основания для фольгированных диэлектриков применяются самые различные полимерные материалы: полиэфир, в частности полиэтилентерефталат (он же Mylar или лавсан), полиимид [1, 2, 7] (Kapton различных типов), фторополимерные плен-

ки (Teflon), жидкокристаллические полимеры (LCP) и даже термопластичные пленки, такие, например, как полиэтилен, поливинилхлорид и др. Толщина полимерного основания гибких фольгированных диэлектриков меняется в широких пределах, чаще всего она составляет от 10 до 125 мкм. Более детальная сравнительная характеристика этих материалов приведена в [1].

В настоящее время наибольшей популярностью пользуются полиэфирные (Mylar) и полиимидные (Kapton) пленки. Они имеют хорошие электрические характеристики и достаточную прочность при разрыве. Полиэфирные пленки, кроме того, характеризуются сравнительно низкой стоимостью и низким влагопоглощением, однако являются горючими, плохо выдерживают пайку и становятся хрупкими при криогенных температурах.

Полиимидные пленки также способны поглощать влагу (до 3%), к тому же являются более дорогими в сравнении с полиэфирными. Однако они обладают ценнейшим комплексом свойств, такими как:

- малая плотность [11];
- высокая радиационная стойкость [11];
- высокая электрическая прочность [12];
- низкая диэлектрическая проницаемость [11, 12];
- сравнительно высокая в сравнении с другими полимерами теплопроводность [12];
- высокая механическая прочность в сочетании с эластичностью [12];
- близость температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) полиимида к значению ТКЛР металлов, применяемых для изготовления фольгированных диэлектриков (меди и, особенно, алюминия);
- способность поддаваться травлению в сильнощелочных растворах, что позволяет при необходимости получать в них сквозные отверстия [11, 12];
- незначительность газовыделения, что позволяет проводить вакуумное напыление различных металлов на полиимидные пленки и даже изготавливать многослойные гибкие платы [3, 4, 11, 13].

В ряду ароматических полиимидов наиболее ценным комплексом свойств обладает поли-4, 4'-дифенилокси-пиромеллитимид, получаемый по реакции поликонденсации пиромеллитового диангидрида и аминодифенилового эфира. Пленки из такого материала известны в России как ПМ1, ФДИ и др., а в США — как Kapton различных типов. Широкое применение этого конкретного материала обусловлено в первую очередь его исключительной способностью сохранять стабильность свойств при высокой температуре [12], что позволяет проводить операции термокомпрессии и эвтектической пайки кремния с золотом при температуре около 400°C [4].

*Технические характеристики пленок, используемых в качестве полимерного основания
фольгированных диэлектриков*

Тип полимера	Прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение при растяжении, %	Электрическая прочность, кВ/мм	Диэлектрическая проницаемость	Тангенс угла потерь	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Диапазон рабочих температур, °С
Полиимид Kapton	175–180 [1, 2, 11, 12]	60 [1]	280–300 [12]	3,5 [1]	0,003 [1]	0,14–0,20*	–200... +300 и выше [2, 11, 12, 14]
Полиэфир Mylar	180 [1]	120 [1]	276 [1]	3,2 [1]	0,005 [1]	0,14*	–20... +100 [15]

* Данные производителей полимерных пленок

Сравнительные технические характеристики материалов, наиболее часто применяющихся в качестве полимерного основания фольгированных диэлектриков, приведены в **таблице**.

Материалы проводящего слоя

В качестве материала проводящего слоя используется преимущественно медная фольга, представленная на рынке в широком ассортименте. Так, например, американским стандартом IPC-4562 регламентируются восемь основных типов медной фольги, используемой при изготовлении гибких плат [1]. Из них четыре типа получают методом электрохимического осаждения (электролитическая фольга), а остальные — методом прокатки. Катаная фольга является более качественной и обеспечивает большую устойчивость к многократным перегибам. Но при ее использовании требуется обязательная подготовка поверхности основания для повышения ее шероховатости с целью улучшения адгезии между слоями. Медь можно также осаждать гальваническим путем на гибкое основание после его предварительной химической металлизации или после предварительного напыления на него тонкого медного слоя (обычно менее 1 мкм), в том числе с подслоем хрома, никеля и других металлов.

Следует отметить такой недостаток меди, как высокая окисляемость ее поверхности [4], создающая трудности при монтаже. В связи с этим медь в изделиях используется преимущественно в составе многослойных проводников, в которых предусматривается защита ее поверхности, например золотом или припоями, а также покрывными полимерными пленками с односторонне нанесенным слоем адгезива путем прикатки и прессования при высоких температурах.

В случае специальных требований всегда имеется широкий выбор фольги других металлов, в частности алюминия и никеля. Применяется также фольга из сплавов меди (бериллиевая бронза) и железа (нержавеющая сталь, сплав Iconel).

Появление таких изделий, как RFID-антенны, радиочастотные мягкие метки для защиты това-

ров от краж, гибкие печатные кабели, гибкие полиимидные носители обусловили необходимость выпуска гибких фольгированных диэлектриков с использованием не только медной, но и алюминиевой фольги, обеспечивающей снижение веса и стоимости изделий и имеющей ряд дополнительных преимуществ.

Важнейшим из них является совместимость выводов из алюминиевой фольги с кристаллами микросхем. Это обусловлено тем, что в качестве материала контактных областей кристаллов используется в основном алюминий. В таком случае при использовании алюминия в качестве проводящего слоя гибких носителей, шлейфов или антенн в местах соединения выводов с контактными областями кристаллов образуется однокомпонентная система Al—Al, в которой исключается появление хрупких интерметаллических соединений в твердой фазе при эксплуатации приборов, в том числе при повышенных температурах [7]. Другим важным преимуществом алюминия является то, что он имеет малый заряд ядра ($Z=13$), не образует при облучении вторичных изотопов и устойчив к воздействию радиации [7, 11]. Это актуально в случаях необходимости обеспечения работоспособности изделий в условиях радиационных нагрузок, а также при ядерных и космических исследованиях.

Важно отметить, что алюминиевая фольга, в отличие от медной, выпускается только катаной.

Состояние и перспективы производства гибких фольгированных диэлектриков в России и странах СНГ

Промышленность России и стран СНГ выпускает гибкие диэлектрики, изготовленные преимущественно из электролитической медной фольги и полиэтилентерефталатной или полиимидной пленки, соединенных между собой с помощью адгезива (ПФ,ДФГ,ЭФП и др.). Однако, поскольку качество таких материалов низкое, изготовить из них современные высоконадежные изделия, например военного назначения, невозможно [1]. Это обусловлено более низкой пластичностью электролитической мед-

ной фольги в сравнении с катаной, высокой степенью усадки диэлектрического основания изделий после стравливания фольги, недостаточной устойчивостью диэлектриков к воздействию расплавленного припоя из-за низкой термостойкости адгезивов, а также нестабильностью физических, механических и электрических характеристик материалов [1]. В связи с этим изготовители гибких печатных плат вынуждены использовать более качественные импортные материалы, применение которых, впрочем, запрещено действующим стандартом на платы печатные военного назначения (ГОСТ РВ 5998-002).

Производство гибких диэлектриков для нужд электронной техники с применением других видов металлической фольги, в частности из алюминия, в России свертывается в связи с недостаточным финансированием отраслевого института электронных материалов. Кроме того, постоянно возрастает потребность в новых материалах, особенно безадгезивных, выдерживающих воздействие более высоких температур и позволяющих существенно повысить плотность монтажа элементов [1], а существующий уровень производства не отвечает требованиям по качеству и номенклатуре.

Из безадгезивных фольгированных материалов в России в настоящее время выпускаются в основном диэлектрики лакофольговые типа ФДИ-АП50 и ФДИ-А220 на полиимидном основании с толщиной алюминиевой фольги 30 мкм и полиимидной пленки 20 мкм. Однако эти материалы являются нестабильными, т. к. степень полимеризации (имидизации) их основания низкая (до 70%), вследствие чего они имеют ограниченный гарантийный срок хранения (не более трех месяцев) и дают большую усадку в процессе изготовления изделий как после стравливания фольги, так и при проведении технологических операций термообработки. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что изделия, изготовленные из лакофольговых диэлектриков с пониженной степенью имидизации, требуют обязательной финишной термообработки при 300°C для полного завершения процесса имидизации. Поэтому при проектировании сложных многовыводных изделий, в частности гибких полиимидных носителей для сборки микросхем [3, 4, 7, 13], микрокабелей и шлейфов, из таких материалов необходимо учитывать поправку на усадку. С другой стороны, нестабильность свойств полиимидного основания этих изделий делает такую упреждающую корректировку недостаточно эффективной.

Постоянное повышение уровня интеграции микросхем, собираемых с использованием гибких полиимидных носителей и микрокабелей, сопровождается увеличением числа их выводов до нескольких сотен и диктует необходимость уменьшения шага выводов до 80 мкм [7], а ино-

гда до 50 мкм [16]. Изготовление таких сложных многовыводных изделий возможно только за счет существенного повышения качества и стабильности свойств лакофольговых диэлектриков, а также уменьшения толщины алюминиевой фольги до 14 мкм, а в некоторых случаях и до 10 мкм [16].

Появление на рынке акустических мембран [6], изготавливаемых НПП «Поликом» из лакофольговых диэлектриков типа «алюминий — полиимид», стало возможным благодаря расширению номенклатуры выпускаемых фольгированных материалов. В частности, для изготовления мембран необходим целый ряд лакофольговых диэлектриков с толщиной алюминиевой фольги 10, 14, 20, 25 и 30 мкм. Для производства гибких терморезисторов на полиимидной основе [5] выпускается безадгезивный материал типа «никель — полиимид» с толщиной металлической фольги 7 мкм. При изготовлении такого материала применяется катаная никелевая фольга.

Вопросы повышения качества гибких фольгированных диэлектриков и объемов их выпуска остаются актуальными.

Учет всех свойств, стоимостных показателей, особенностей изготовления и предложений на рынке фольгированных диэлектриков позволяет выделить в качестве, на наш взгляд, наиболее перспективных для производства безадгезивные лакофольговые диэлектрики, получаемые нанесением полиимидного лака на металлическую фольгу при полной имидизации, что позволит повысить качество и стабильность свойств материала. Для достижения этого очень важным является совершенствование технологии их изготовления. При этом гарантийный срок хранения материала увеличивается до одного года.

Используя такие лакофольговые диэлектрики можно:

- повысить плотность монтажа элементов изделий за счет уменьшения шага выводов до 80 мкм, а при необходимости и до 50 мкм [1, 7, 16];
- обеспечить широкую номенклатуру фольгированных диэлектриков за счет применения разнообразных как по толщине, так и по материалу (алюминий, медь, никель, их сплавы и пр.) видов фольги;
- обеспечить выпуск новых высокотехнологичных изделий.

Так, изготовленные из лакофольгового диэлектрика типа «алюминий — полиимид» гибкие полиимидные носители, микрокабели и шлейфы позволяют непосредственно присоединять полупроводниковые кристаллы к их выводам, и обеспечивают высокую надежность изделий за счет образования монометаллического соединения Al—Al при сварке на кристалле.

Благодаря же исключительно высокой радиационной стойкости полиимида и алюминия, обеспечивается возможность работы изделий в условиях радиационных нагрузок.

Технология изготовления лакофольговых диэлектриков

Технологический процесс изготовления безадгезивных фольгированных (лакофольговых) диэлектриков включает следующие основные операции [9]:

- подготовка поверхности фольги;
- формирование слоя полиимидной пленки на фольге;
- термообработка фольгированного диэлектрика.

Высокие качественные характеристики фольгированных диэлектриков, изготавливаемых по разработанной технологии, достигаются за счет:

- проведения очистки, обезжиривания фольги и обдува для улучшения адгезии к ней полиимидной пленки;
- предварительной фильтрации полиимидного лака с целью удаления примесей и пузырьков воздуха;
- обеспечения равномерной и одновременной температурной обработки всего рулона диэлектрика, намотанного совместно с лентой корректора, с целью гарантированной равномерности степени имидизации и отжига алюминия для улучшения его свариваемости;
- проведения термообработки в вакуумной камере или печи;
- доведения степени имидизации полиимидной пленки до 95—100%.

Авторами в НПП «Поликом» организован серийный выпуск ряда фольгированных диэлектриков (ФДИ-А24, ФДИ-А40 и др.) с разной толщиной фольги: алюминиевой — 10, 14, 20, 25 и 30 мкм, никелевой — 7 мкм (ЭФН-7), медной — 18, 35 и 50 мкм (ДЛ-ПМ). Данные материалы используются для изготовления гибких полиимидных носителей, шлейфов, микрокабелей, мембран акустических преобразователей, терморезисторов и других изделий.

Выводы

Таким образом, проведенный анализ показал, что в сравнении с другими фольгированными диэлектриками лакофольговые диэлектрики имеют существенное преимущество, поскольку изготавливаются без использования адгезивов. Разработанная технология позволяет осуществлять серийный выпуск безадгезивных фольгированных диэлектриков с высокими качественными характеристиками. Полиимидное основание диэлектриков имеет высокую адгезию к фольге и гарантированную равномерность сте-

пени имидизации 95—100%. Этим обеспечивает стабильность технологических режимов в процессе изготовления изделий из данных материалов, а также повышение срока хранения лакофольговых диэлектриков до 12 мес.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Медведев А. М. Материалы для гибких печатных плат // Технологии в электронной промышленности. — 2011. — № 3.
2. <http://www.gts-flexible.co.uk/>.
3. Гуськов Г. Я., Блинов Г. А., Газаров А. А. Монтаж микроэлектронной аппаратуры. — Москва: Радио и связь, 1986.
4. Важенни И. Н., Блинов Г. А., Коледов Л. А. и др. Микроэлектронная аппаратура на бескорпусных интегральных микросхемах. — Москва: Радио и связь, 1985.
5. Динев Д. А., Жора В. Д., Григорьева Н. Н., Грунянская В. П. Технология изготовления гибких терморезисторов на полиимидной основе // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2013. — № 1. — С. 38—41.
6. Баклаев К. К., Воробьев А. В., Жора В. Д., Низкоомные акустические мембраны на полиимидной основе // Труды XIV Междунар. научн.-практ. конф. «СИЭТ-2013». — Украина, г. Одесса. — 2013, Т. I. — С. 248—250.
7. Вербицкий В. Г., Плис Н. И., Жора В. Д., Грунянская В. П. Сравнительный анализ методов сборки микросхем на гибких полиимидных носителях // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2013. — № 5. — С. 37—41.
8. http://www.cgstape.com/doc/film_cm.htm.
9. Патент России 2240921. Способ получения полиимидного материала / В. Н. Воробьев, А. В. Воробьев. — Опубл. 27.11.2004.
10. <http://www.apogeeacoustic.com>.
11. Борщев В. Н., Листратенко А. М., Антонова В. А., Проценко М. А., Тимчук И. Т., Костышин Ю. Ю. Светодиодные модули на основе алюминиевой «chip on flex» (COF) технологии // Світлотехніка та електроенергетика. — 2008. — № 4. — С. 31—37.
12. Бессонов М. И., Котон М. М., Кудрявцев В. В., Лайус Л. А. Полиимиды — класс термостойких полимеров. — Ленинград: Наука, 1983.
13. А. с. 1 781 733 СССР. Способ сборки интегральных схем // А. Г. Шеревеня, И. А. Тучинский, В. Д. Жора — 1992. — Бюл. № 46.
14. Гаврюшин Н. Н. Методы изготовления гибких печатных плат и кабелей // Зарубежная радиоэлектроника. — 1985. — № 5. — С. 51—63.
15. <http://www.plastspb.ru/index.php/materialy/polietilenteraftalat-pet>.
16. Борщев В. Н., Антонова В. А., Листратенко А. М. и др. Комплексный подход к выбору конструктивно-технологических решений гибко-жестких односторонних модулей для комптоновской медицинской томографии // В кн.: Сцинтилляционные материалы. Инженерия, устройства, применение. — Харьков: ИСМА, 2009. — С. 111—127.

*Дата поступления рукописи
в редакцию 17.02 2014 г.*

А. В. ВОРОБЬЮВ, В. Д. ЖОРА

Росія, м. Красногорськ, НВП «Поліком»; Україна, м. Київ, «НДІ мікроприладів» НТК «ІМК» НАНУ
E-mail: vdzhora@ukrpost.net

ГНУЧКІ ФОЛЬГОВАНІ ДІЕЛЕКТРИКИ: КЛАСИФІКАЦІЯ І АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ

Наведено класифікацію гнучких фольгованих діелектриків різних типів, проведено їх порівняльний аналіз. Виділено найбільш перспективний варіант виготовлення безадгезивних фольгованих діелектриків

на поліімідній основі, одержуваних нанесенням поліімідного лаку на металеву фольгу.

Ключові слова: гнучкі фольговані діелектрики, лакофольгові діелектрики, поліімідна основа, поліімідний лак, металева фольга.

DOI: 10.15222/TKEA2014.2.56

UDC 621.793

A. V. VOROBYEV, V. D. ZHORA

Russia, Krasnogorsk, Research and Production Company "Polycom" LLC
Ukraine, Kiev, State enterprise "RI of Microdevices"
STS "Institute of Single Crystals" NAS of Ukraine
E-mail: vdzhora@ukrpost.net

FLEXIBLE FOILED DIELECTRICS: CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF WAYS FOR APPLICATION AND IMPROVEMENT

The paper presents a classification of flexible foiled dielectrics of different types. A comparative analysis of the properties of dielectrics manufactured with the use of adhesives, as well as without them, is given. Methods for the preparation of flexible foiled non-adhesive dielectrics, materials of conductive layer and a dielectric base are considered. The technical characteristics of the various polymer films used as a dielectric base are given. The advantages of the polyimide films in comparison with other polymer films are shown.

The most perspective option of manufacturing of non-adhesive foiled dielectrics based on polyimide obtained by applying of a polyimide lacquer on metal foil, the so-called lacquer-foil dielectrics, is highlighted.

The technology of manufacturing of lacquer-foil dielectrics with higher quality characteristics is described. The polyimide base of dielectrics has better adhesion to the foil and guaranteed uniformity of degree of imidization of 95–100%. The technology developed has allowed to carry out serial production of materials for electronic equipment. Series of lacquer-foil dielectrics of different thicknesses of foil is manufactured: aluminum – 10, 14, 20, 25 and 30 μm , nickel – 7 μm and copper – 18, 35, 50 μm . These materials are used for the manufacturing of flexible polyimide carriers, stubs, microcables, membranes of acoustic transducers and thermistors.

Keywords: flexible foiled insulators, lacquer-foil dielectrics, polyimide base, polyimide lacquer, metal foil..

REFERENCES

1. A. M. Medvedev. [Materials for flexible printed circuit boards]. *Tekhnologii v elektronnoi promyshlennosti*. 2011, no 3. (in Russian)
2. <http://www.gts-flexible.co.uk/>.
3. Gooskov G. Ya, Blinov G. A., Gazarov A. A. *Montazh mikroelektronnoi apparatury* [Installation of microelectronic devices]. Moscow. Radio and Communications, 1986.
4. Vazhenin I. N., Blinov G. A., Koledov L. A. et al. *Mikroelektronnaya apparatura na beskorpusnykh integral'nykh mikroskhemakh* [Microelectronic devices on unpackaged integrated circuits]. Moscow. Radio i svyaz, 1985.
5. Dinev D. A., Zhora V. D., Grigoryeva N. N., Grun'yanskaya V. P. [A technology for flexible thermoresistors on polyimide base]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*. 2013, no 1, pp. 38-41. (in Russian)
6. Baklayev K. K., Vorobyev A. V., Zhora V. D. [Low impedance acoustic membranes based on polyimide films]. *Proceedings of the 14th International scientific-practical conference «Modern information and electronic technologies»*, Ukraine, Odessa. 2013, vol. II, pp. 248-250. (in Russian).
7. Verbitskiy V. G., Plis N. I., Zhora V. D., Grun'yanskaya V. P. [Comparative analysis of methods for the microcircuit assembly on flexible polyimide carriers]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*. 2013, no 5, pp 37-41. (in Russian)
8. http://www.cgstape.com/doc/film_cm.htm.
9. Russia patent 2240921 [A method for producing a polyimide material] V. N. Vorobyev, A. V. Vorobyev. 27.11.2004.
10. <http://www.apogeeacoustic.com>
11. Borshchov V.N., Listratenko O. M., Antonova V. A., Protsenko M. A., Tymchuk I.T., Kostyshyn Y. Y. [LED modules on the basis of aluminium «Chip on flex» (COF) technology] *Svitlotekhnika ta elektroenergetika*. 2008, no 4, pp. 31-37. (in Russian)
12. Bessonov M. I., Koton M. M., Kudryavtsev V. V., Laius L. A. *Poliimidy – klass termostoikikh polimerov* [Polyimides – a class of heat-resistant polymers]. Leningrad, Nauka, 1983, 328 p.
13. USSR Copyright certificate 1781733. [A method for assembling integrated circuits] A. G. Sherevenya, I. A. Tuchinskii, V. D. Zhora. 1992. no 46.
14. Gavriushin N. [Methods of manufacturing of flexible printed circuit boards and cables] *Zarubezhnaya radioelektronika*. 1985, no 5, pp. 51-63. (in Russian)
15. <http://www.plastspb.ru/index.php/materialy/polietilenteraftalat-pet>.
16. Borschev V. N., Antonova V. A., Listratenko A. M. etc. [An integrated approach to the choice of structural and technological solutions for flex-rigid one-detector modules for Compton medical imaging]. In book *Stsintillyatsionnyye materialy. Inzheneriya, ustroystva, primeneniye*. Khar'kov. ISMA, 2009, pp. 111-127. (in Russian)