

УДК 681.84.081.5

## НИЗКООМНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ НА ПОЛИИМИДНОЙ ОСНОВЕ

К. К. Баклаев<sup>1</sup>, А. В. Воробьев<sup>2</sup>, к. т. н. В. Д. Жора<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ДП ПАО НИИ БРЭА «НПП звукотехники и информационных систем»,  
г. Львов, Украина;

<sup>2</sup>НПП «Поликом» г. Красногорск, Россия;

<sup>3</sup>НИИ микроприборов НТК «ИМК» НАНУ, г. Киев, Украина  
vdzhora@ukrpost.net

*Рассмотрена технология изготовления акустических мембран из фольгированных диэлектриков типа алюминий-полиимид и преимущества таких мембран в сравнении с другими звуковыми излучателями.*

*Ключевые слова: акустическая система, звуковые излучатели, мембрана, полиимидная пленка.*

В акустических системах различного типа в качестве звуковых излучателей широко применяются мембраны, изготовленные с использованием полимерных пленок, чаще всего, из майлара (он же полиэтилентерефталат или лавсан). Акустические мембраны представляют собой тонкую (толщиной в сотые доли миллиметра) эластичную пленку, на которой расположены проводники различной формы в зависимости от принципа работы излучателя звука. В электростатических излучателях они представляют собой несколько изолированных друг от друга металлизированных полос, в изодинамических – проводящие дорожки типа меандра, в ортодинамических – проводник в виде спирали. Мембраны на лавсановой основе изготавливаются преимущественно из трехслойных фольгированных материалов типа «майлар — адгезив — металлическая фольга».

К достоинствам планарных звуковых излучателей, в которых используются такие мембраны, относятся:

- широкий диапазон воспроизводимых частот (от 100 и меньше Гц до 30 и более кГц);
- малые нелинейные искажения за счет очень малого веса мембраны, чем обеспечивается ее практическая безынерционность;
- высокая точность воспроизведения звука, его прозрачность, естественность и реалистичность в широком диапазоне частот.

В электронике при изготовлении гибких носителей для сборки микросхем, гибких плат и шлейфов широко применяются фольгированные материалы на полиимидной основе (пленке). Важно отметить, что полиимидные пленки характеризуются ценнейшим комплексом свойств:

- более высокими в сравнении с другими полимерами механической прочностью и эластичностью и термостойкостью [1];
- высокой электрической прочностью (280 – 300 кВ/мм) [1];
- малой плотностью [2];
- относительно высокой в сравнении с другими полимерами теплопроводностью [3], что важно для уменьшения вероятности перегрева мембран при большой мощности звуковых излучателей;
- возможностью получения безадгезивных фольгированных материалов [4].

Целью настоящей работы являлись разработка конструкции и технологии изготовления акустических мембран на полиимидной основе.

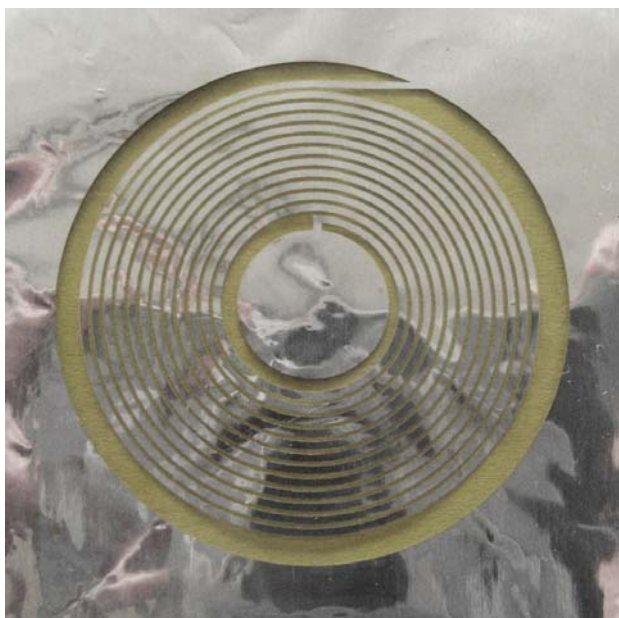
Конструктивно мембраны для изодинамических или ортодинамических аудиосистем представляют собой проводники из алюминия толщиной от 14 до 30 мкм, расположенные на полиимидной пленке. Форма проводников может быть различной (в виде меандра или спирали) и задается фотошаблонами. В зависимости от конструкции акустических систем размеры мембран

могут составлять от 45×45 мм до 200×400 см. Толщина полиимидной пленки (основы мембран) обычно составляет 10 – 12 мкм.

Технологический процесс изготовления акустических мембран на полиимидной основе, разработанный авторами, включает такие основные операции:

- подготовки поверхности фольги;
- формирования слоя полиимидной пленки на фольге;
- термообработки фольгированного диэлектрика;
- нанесения фоторезиста;
- экспонирования;
- проявления;
- травления слоя алюминия;
- снятия фоторезиста или зачистки контактов;
- контроля и измерения сопротивления.

Подготовку поверхности фольги проводят в соответствии с рекомендациями, приведенными в [4]. Для этого металлическую фольгу предварительно подвергают очистке и обезжириванию для улучшения смачиваемости поверхности фольги полиимидным лаком и фоторезистом при их нанесении.



Акустическая мембрана высокочастотного излучателя на полиимидной основе

обеспечивает получение светочувствительного слоя оптимальной толщины — порядка 1,5 мкм в диапазоне рабочих температур при различной вязкости фоторезиста, допускаемой техническими условиями на него. Сушку нанесенного фоторезистивного слоя проводят на этой же установке рулонным методом по стандартным режимам.

Далее фольгированный диэлектрик с нанесенным фоторезистом разрезают на отдельные заготовки.

Экспонирование проводят на установке двухстороннего экспонирования групповым методом, при этом применяются пленочные фотошаблоны.

Перед проявлением заготовки закрепляют на специальных металлических рамках, стойких к действию технологических растворов. Проявление защитного рельефа проводят последовательно в трех порциях уайт-спирита с последующей промывкой в бутилацетате и сушкой в потоке теплого воздуха. Термическое дублирование полученного при проявлении защитного рельефа проводят в два приема при температурах  $100 \pm 10^\circ\text{C}$  и  $120 \pm 10^\circ\text{C}$  с выдержкой по часу при каждой температуре.

Локальное травление слоя алюминия проводят групповым методом в специально подобранном кислотном травящем растворе.

Формирование слоя полиимидной пленки на фольге [4] проводят на специальной установке рулонным методом.

Термообработку полученного фольгированного диэлектрика проводят с целью достижения степени полимеризации (имидизации) нанесенной лаковой пленки до 95—100%. Для этого металлическую фольгу со сформированным полиимидным покрытием сматывают в рулон совместно с прокладочной полимерной лентой коррекса и помещают в вакуумные сушильные камеры или вакуумные печи [4].

В технологическом процессе изготовления акустических мембран используется негативный фоторезист ФН-11С на основе циклокаучука с бисазидом, образующий на гибких подложках эластичный защитный рельеф, стойкий к многократным перегибам. При нанесении фоторезиста, осуществляемого в рулоне методом погружения, используется ранее разработанная методика [5]. Ее применение

Удаление фоторезиста, при необходимости, проводят после предварительного замачивания в ксилоле путем обработки в горячем форсане-2 и последовательной промывки в ксилоле и бутилацетате. На некоторых изделиях проводить операцию удаления фоторезиста не требуется. В таком случае его удаляют локально только с контактных площадок, которые используют для контроля сопротивления мембран и для пайки проводников.

При контроле проверяют полноту вытравливания алюминия в дорожках травления. При этом с помощью иглы могут удаляться единичные закоротки между элементами мембран без нарушения целостности полиимидной основы. Затем с помощью приборов измеряют сопротивление готовых мембран. В зависимости от конструкции сопротивление мембран может составлять от нескольких Ом до несколько десятков Ом. При этом точность воспроизведения сопротивления мембран не хуже  $\pm 5\%$ .

Более высокие в сравнении с другими полимерами значения характеристик полиимидной основы акустических мембран, а именно: прочности и эластичности, теплопроводности, электрической прочности, а также отсутствие слоя адгезива обуславливают повышение надежности и срока службы аудиосистем. За счет более высокой термостойкости полиимидной пленки в сравнении с майларовой существенно улучшается процесс пайки проводников к мембранам при монтаже акустических систем.

Мембраны на полиимидной основе серийно выпускаются НПП «Поликом».

С использованием низкоомных акустических мембран на полиимидной основе на этом же предприятии, а также в НПП Звукотехники и информационных систем выпускается ряд уникальных автомобильных изодинамических систем, в том числе пленочный сабвуфер, широко-полосные домашние системы, акустические параметры которых постоянно улучшаются. Так, за последние 5 лет чувствительность небольшой (300×800 мм) широкополосной изодинамической Hi-End системы 150 АСИД-007 увеличилась на 10 дБ (с 85 до 95 дБ/(Вт·м)), а нижняя граничная частота расширилась с 200 до 70 Гц при примерно том же конструктиве.

Акустические мембраны на полиимидной основе поставляются также и в США, где с их использованием выпускаются высококачественные домашние и концертные аудиосистемы, Hi-Fi стереонаушники и т. п.

Разработанная технология позволила организовать серийное производство акустических мембран на полиимидной основе, выпускаемых без использования адгезивов. Полиимидная основа мембран характеризуется более высокими характеристиками прочности и эластичности, а также термостойкости и теплопроводности в сравнении с майларовой.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бессонов М. И., Котон М. М., Кудрявцев В. В., Лайус Л. А. Полиимиды — класс термостойких полимеров.— Ленинград: Наука, 1983.
2. Борщев В. Н., Листратенко А. М., Антонова В. А. и др. Светодиодные модули на основе алюминиевой “chip on flex” (COF) технологии // Світлотехніка та електроенергетика.— 2008.— №4.— С. 31—37.
3. Плис Н. И., Вербицкий В. Г., Жора В. Д. и др. Технология сборки микросхем на гибком полиимидном носителе // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2010.— №. 5—6.— С 43—45.
4. Патент 2240921 России. Способ получения полиимидного материала/ В.Н.Воробьев, А.В.Воробьев.— Оpubл. 27. 11. 2004.
5. Жора В. Д., Шеревеня А. Г., Донцова В. В. и др. Нанесение фоторезистивного слоя в процессе рулонного изготовления гибких носителей для сборки ИС // Электронная техника. Сер. 7. ТОПО.— 1988.— Вып. 3.— С. 5—8.

---

K. K. Baklayev, A. V. Vorobyev, V. D. Zhora

#### **Low impedance acoustic membranes based on polyimide films.**

The technology for manufacturing of acoustic membranes based on aluminum-polyimide film dielectrics is presented, the advantages of such membranes in comparison to other sound emitters are analyzed.

Keywords: *acoustic system, sound emitters, membrane, polyimide film.*