

растворителях и кислотах для очистки поверхности от загрязнений. Нанести на центрифуге на две стороны и высушить маску из позитивного фоторезиста марки ФП 9120-1. Провести двусторонние фотолитографические процессы – совмещение фотошаблонов, фотозаконспирирование (завешивание ультрафиолетовым светом) на установке SUSS MICROTEC MA6/BA6, проявление рисунка (удаление завешивенной пленки фоторезиста в проявителе) и сушку заготовок с последующим дублированием фоторезистивной пленки. Далее методом химического травления проводили удаление марнитометричного материала на свободных от фоторезиста участках поверхности заготовок до появления в заготовках сквозных отверстий. Использовали травитель на основе азотной и серной кислот. Скорость травления металла около 1 мкм в минуту. При травлении маска фоторезиста слетела из-за потери адгезии, поэтому пришлось провести еще раз процесс фотолитографии на установке одностороннего экспонирования ЭМ-576 с последующим дотравливанием заготовок. После, в растворителе проводили удаление остатков фоторезистивной маски и разделили изготовленные исполнительные элементы для последующей сборки. Оказалось, что край исполнительных элементов имеют неровности размером от 10 до 20 мкм, что является неприемлемым для разработанной конструкции, так как эти неровности будут задевать штырь, что делает невозможным проведение измерений. Поэтому был предложен процесс электрохимического травления заготовок, который обеспечил быструю скорость травления – около 2-х мкм в минуту и ровный край на полученных исполнительных элементах.

После изготовления подвижных элементов проводили их сборку с катушками и испытания для исследования характеристик полученной конструкции. Результаты испытаний показали правильность выбора конструктивно-технологического варианта, так как амплитуда отклонения подвижной пластины в магнитном поле катушек составила около 3 мм.

Вышеописанный технологический процесс изготовления подвижной пластины является не сложным, а малое количество операций является гарантом технологичности создаваемого устройства и высокого процента выхода годных изделий. В одном технологическом процессе, могут быть изготовлены конструкции с различными масштабными геометрическими параметрами для различных диапазонов чувствительности ВМЭП. По сравнению с существующими датчиками, которые используются в настоящее время [3], в новом исполнении подвижном элементе отсутствуют сварные или паяные соединения, что увеличивает надежность механических, упругих и прочностных параметров колеблещегося элемента, а значит работы самого вибрационного модулятора

электрического поля для миниатюрных измерителей параметров электризации КА. Разработанный технологический процесс изготовления подвижной пластины обеспечил изготовление ВМЭП, способного измерять напряженности электростатических полей с амплитудным диапазоном от 0,5 до 10 кВ/м.

#### Список литературы

1. *Графодатский О.С., Козлов А.Г., Чернявский Г.М.* Анализ боевой бортовой радиоэлектронной аппаратуры геостационарных спутников связи. ЦНТИ «Поиск». СИП. 1981. Сер. 1, № 12. 137 с. С. 78.
2. *Панасюк М.И., Новиков Л.С.* Модель космоса: Науч.-информационное издание. Т. 2. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов. М.: КДУ, 2007. 1144 с. С. 242.
3. *Вакулин Ю.И., Графодатский О.С., Гусельников В.И.* и др. Основные геофизические закономерности электризации геостационарных спутников связи «Горизонт» // Космические исследования. Т. 27. № 1. С. 102–112.

УДК 658.562

## Математический аппарат определения приоритетных направлений долговечности многослойных печатных плат бортовой РЭА для ракет-носителей и разгонных блоков

Р.В. Скворцов, А.П. Мороз<sup>1</sup>

<sup>1</sup>д.т.н.

АО «НПО ИТ», г. Королёв

e-mail: roma154@rambler.ru

**Аннотация.** Доклад посвящен анализу дефектов многослойных печатных плат (МШП) в процессе эксплуатации и разработке математического аппарата повышения их долговечности в результате совершенствования технологий изготовления. Тема исследования актуальна для специалистов, занимающихся вопросами обеспечения долговечности радиоэлектронной аппаратуры для изделий ракетно-космической техники.