

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ, МЕХАНИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ  
И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ  
Al-СПЛАВОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ ШИРОКОФОРМАТНЫХ  
ПОДЛОЖЕК И ОСНОВАНИЙ С ВАРИАНТАМИ РАДИАТОРНЫХ СИСТЕМ**

© 2016 г. Д.Л. ШИМАНОВИЧ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск  
e-mail: ShDL@tut.by

Повышение функциональной сложности силовых многокристалльных электронных модулей при одновременном увеличении требований к их электрофизическим параметрам, надежности и технологичности, а также увеличение мощности тепловыделения и необходимость реализации все более сложных систем на одном несущем основании требуют новых подходов к выбору подложек и оснований. В этой связи важным является анализ и оптимизация существующих технологических методов предварительной обработки и изготовления алюминиевых оснований (в том числе с радиаторными системами).

На основании предварительных исследований [1-4] осуществлен и обоснован выбор Al-сплавов, необходимых для последующего изготовления широкоформатных алюминиевых оснований с диэлектрическими покрытиями из анодного оксида алюминия при проведении электрохимических процессов анодирования. Исходным материалом для плоских оснований служили листовые прокатные заготовки промышленных сплавов Al (A0, A5, AMg-2, AMg-3, AMg-5 с определенным содержанием легирующих добавок), размером ~50×50; 60×60; 70×40; 70×65; 70×75; 100×100; 50×200 мм и толщиной ~1; 2; 3 мм. Кроме того, осуществлен выбор Al-заготовок в виде радиаторных систем, которые содержат плоскую часть в качестве оснований (толщиной ~3-5 мм) для дальнейшего проведения операций формирования диэлектрических и металлизированных слоев, и радиаторы, выполненные в виде перпендикулярных к основанию игольчатостыревых и пластинчатых ребер длиной ~2-5 см и с различным шагом расположения (~0,5-1 см) для повышения эффективности отвода тепла (рис. 1).

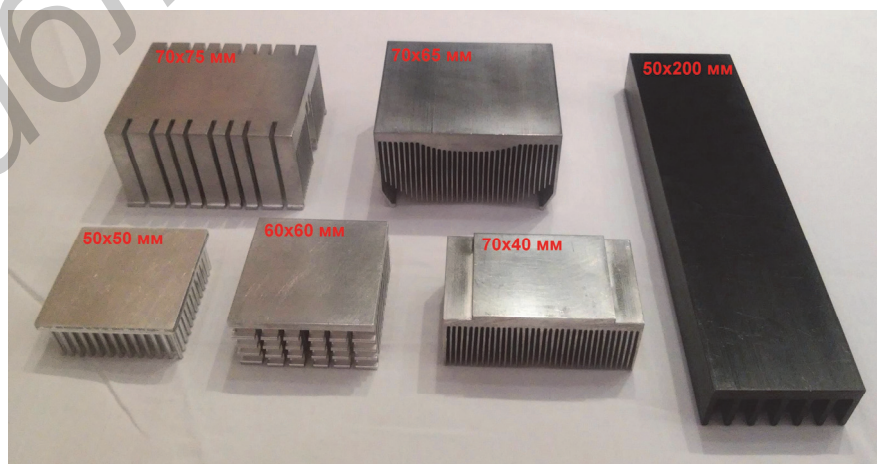


Рис. 1. Фотографии широкоформатных алюминиевых оснований с вариантами радиаторных систем.

Химическое обезжиривание Al-сплавов (оснований и радиаторов) осуществлялось в бензине нефрас при температуре ~16-18 °С в течение ~3-5 мин, а после промывки в дистиллированной воде и сушки – в хромовой смеси  $\text{CrO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4$  (1:100) при температуре ~16-18 °С в течение ~2-3 мин.

Температурная обработка (термоотжиг) Al-сплавов проводилась при различных температурах (~250; 300; 350; 400; 500 °С) в течение ~2,5; 2; 1,5; 1; 0,5 ч соответственно для придания пластичности Al и равномерного распределения примесей по объему.

Терморихтовка плоских Al-оснований осуществлялась на механическом прессе с усилием сжатия  $\sim 2 \cdot 10^5$  кг/см<sup>2</sup> при температуре ~100 °С для получения плоскопараллельности сторон.

Исследованы и оптимизированы химические, электрохимические и механические методы предварительной обработки, конечной целью которых являлось уменьшение степени шероховатости (микрорельефа) поверхности и улучшение ее качества для возможности проведения дальнейших технологических процессов (формирования диэлектрических покрытий и коммутационных соединений).

Отработаны следующие варианты технологических методов подготовки поверхности плоских Al-оснований и радиаторов:

1. Химическое травление дефектного слоя Al в 7% водном растворе щелочи NaOH при температуре ~45-50 °С в течение ~15 мин.

2. Электрохимическое анодирование для формирования пористого  $\text{Al}_2\text{O}_3$  толщиной ~3-5 мкм в водном 5% растворе щавелевой кислоты ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) при напряжении ~25 В в течение ~20 мин или при плотности тока ~15 мА/см<sup>2</sup> в течение ~15 мин при температуре ~16-18 °С и последующее химическое селективное травление пористого анодного  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на всю толщину до поверхности Al в растворе:  $\text{CrO}_3$  - 20 г/л,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  - 60 г/л,  $\text{H}_2\text{O}$  - 1 л при температуре ~80 °С в течение ~2-3 мин.

3. Химическая полировка в растворе  $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{HNO}_3$  (8:1) при температуре ~85 °С в течение ~5-7 мин.

4. Электрохимическая полировка в растворе смеси  $\text{HClO}_4 : \text{CH}_3\text{COOH}$  (1:4) при температуре ~13-15 °С в течение ~3-5 мин при напряжении ~30 В.

5. Электрохимическое оксидирование для формирования плотного  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в 1% водном растворе лимонной кислоты при напряжении ~200; 250 В и последующее химическое селективное травление плотного анодного  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на всю толщину до поверхности Al в растворе:  $\text{CrO}_3$  - 20 г/л,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  - 60 г/л,  $\text{H}_2\text{O}$  - 1 л при температуре ~80 °С в течение ~3-5 мин.

6. Механическое полирование Al при использовании алмазного абразивного материала с частицами ~1 мкм на войлочных, полиуретановых насадках при вращении ~100-120 об./мин и химическое травление в 10% водном растворе щелочи NaOH при температуре ~35-40 °С в течение ~5-7 мин.

Оценка микронеровностей и микродефектов поверхности экспериментальных образцов проводилась на профилометре ПМ-296 с компьютерной обработкой данных. Действие прибора основывалось на принципе скольжения измерительного зонда по траектории определенной длины L по поверхности образцов с отсечкой шага, ощупывании неровностей исследуемой поверхности щупом датчика и преобразовании возникающих при этом колебаний щупа в изменения напряжения, пропорционального этим колебаниям.

На Рис. 2 и 3 представлены профилограммы и сравнительная гистограмма, характеризующие степень шероховатости поверхности  $R_a$  и максимальное ее значение  $R_{a_{\max}}$  для различных технологических вариантов предварительной обработки экспериментальных образцов (оснований из Al-сплавов). Полученные диапазоны микрорельефов поверхности алюминия следующие: 2,98-3,63 мкм (без обработки); 2,02-2,31 мкм (вариант 1); 1,19-2,18 мкм (вариант 2); 0,98-1,51 мкм (вариант 3); 0,053-0,85 мкм (вариант 4); 0,09-0,65 мкм (вариант 5); 0,02-0,16 мкм (вариант 6). Анализ проведенных исследований показал, что применение определенных технологических приемов позволило улучшить качество поверхности Al-оснований и достичь высоты микронеровно-

стей (пиков возвышенностей) ~0,85; 0,65; 0,16 мкм (варианты 4; 5; 6) по сравнению с исходной величиной (~3,63 мкм).

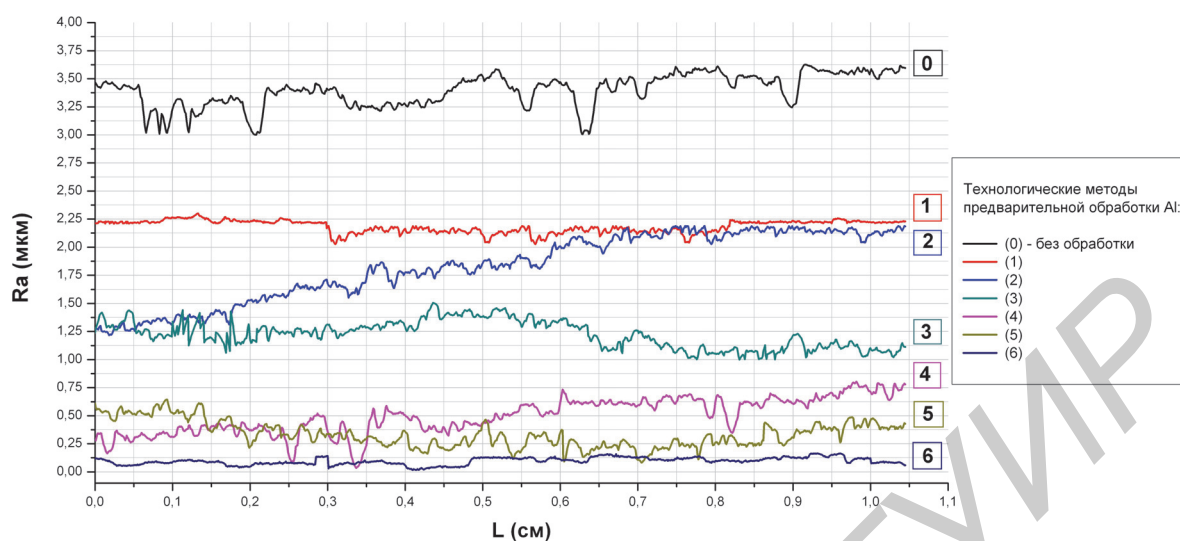


Рис. 2. Сравнительная оценка влияния технологических методов предварительной обработки Al-сплавов (АМг-2) на степень шероховатости поверхности Ra.



Рис. 3. Гистограмма максимальных значений микрорельефа поверхности  $Ra_{max}$  экспериментальных образцов (АМг-2) после обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиманович Д.Л., Сокол В.А. Локальное толстослойное анодирование алюминия и анализ бокового ухода при различных методах маскирования // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. – 2014. – Т. 14. – № 3. – С. 163-165.
2. Шиманович Д.Л. Методы создания встроенных алюминиевых коммутационных элементов в объеме свободных анодных  $Al_2O_3$ -оснований // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. – 2013. – Т. 13. – № 3. – С. 186-189.
3. Шиманович Д.Л., Сокол В.А., Литвинович Г.В. Методы формирования алюмооксидных микроструктур для мощных систем электромеханики // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. – 2014. – Т. 14. – № 3. – С. 170-173.
4. Шиманович Д.Л. Электрохимический синтез свободных двухслойных  $Al_2O_3$ -пластин для СВЧ-систем // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. – 2013. – Т. 13. – № 3. – С. 182-185.