

А. Г. Слуцкий [и др.] // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов в 2 ч.* – Минск: БНТУ, 2021. – Вып. 42. – С. 216–225.

3. Хорольский, П. Д. Способы получения износостойких порошковых материалов для защитных покрытий с использованием плазмы и лазера / П. Д. Хорольский, И. Г. Раков, В. А. Шейнерт // *Новые материалы и технологии их обработки: материалы XXII Респ. студ. научн.-техн. конф., Минск, 21–22 апреля 2021 г.* / Белорус. нац. техн. ун-т: ред. кол.: И. А. Иванов [и др.]. – Минск, 2021. – С. 21–25.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ И ПОВЕРХНОСТНОЙ МОРФОЛОГИИ НА ПАРАМЕТРЫ СМАЧИВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АНОДНОГО Al_2O_3

Шиманович Д. Л.¹, Тишкевич Д. И.², Воробьева А. И.¹, Труханов А. В.²

1 – Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

2 – Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению
ShDL@tut.by

Аннотация. Изучено влияние технологических режимов электрохимического анодирования алюминия и химической модификации пор на структурно-морфологические параметры нанопористого Al_2O_3 и на краевой угол смачивания алюмооксидных структур с целью увеличения гидрофильных свойств конечных модифицированных покрытий. Для синтеза различных видов Al_2O_3 -структур с необходимыми функциональными параметрами осуществлялись методы двух- и трехстадийного анодирования при гальваностатических режимах. Показано, что путем регулирования электрохимических условий можно получать высокие гидрофильные параметры с краевым углом смачивания до $17\text{--}20^\circ$ при использовании высоких значений плотности тока, времени анодирования и температуры электролита.

摘要。 为了提高最终改性涂层的亲水性，研究了铝的电化学阳极氧化和孔隙化学改性的技术制度对纳米多孔 Al_2O_3 的结构和形态参数以及氧化铝结构润湿角的影响。为了合成具有所需功能参数的不同类型的 Al_2O_3 结构，在恒电流模式下进行了两级和三级阳极氧化方法。结果表明，通过调整电化学条件，可以使用高电流密度、阳极氧化时间和电解液温度值获得润湿角高达 $17\text{--}20^\circ$ 的高亲水参数。

Покрyтия с особой смачиваемостью, включая гидрофобные (супергидрофобные) и гидрофильные (супергидрофильные), в последние годы привлекают к себе значительный интерес в связи с их широким практическим применением – от самоочищающихся поверхностей до микрофлюидных и капельных технологий [1].

Электрохимическое анодирование – один из наиболее эффективных методов обработки поверхности и формирования наноструктурированной

поверхностной матрицы на основе Al_2O_3 , структурно-топологические параметры которого существенно влияют на функциональные характеристики и качество покрытий. Для синтеза гидрофобных или гидрофильных покрытий материалы с низкой или высокой поверхностной энергией обычно сочетается со структурированием поверхности с иерархической топографией в нанометровом или микрометровом масштабе. Поэтому, благодаря возможности контролирования размера пор и регулирования химическим составом поверхности пористые структуры анодного оксида алюминия представляют большой потенциал для получения поверхностей с особой смачиваемостью [2–4]. Сам по себе оксид алюминия имеет определенную тенденцию смачиваться водой и поэтому является умеренно гидрофильным материалом с краевым углом смачивания $\sim 45\text{--}60^\circ$. Однако, в сочетании со специфической структурой его поверхности и химией поверхности, можно достигнуть высокой гидрофильности или гидрофобности.

На основании экспериментальных данных было изучено влияние технологических режимов электрохимического анодирования алюминия и химической модификации пор на структурно-морфологические параметры нанопористого Al_2O_3 и на краевой угол смачивания алюмооксидных структур с целью увеличения гидрофильных свойств конечных модифицированных покрытий. Для синтеза различных видов Al_2O_3 -структур осуществлялись методы двух- и трехстадийного анодирования в 4% растворе ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) при $18\text{--}20^\circ C$ при различных гальваностатических режимах на каждой стадии при плотностях тока 15, 20 и 25 mA/cm^2 в течение 60–240 мин. Для химической модификации пористой структуры с расширением пор использовался прием увеличения температуры электролита до $30\text{--}35^\circ C$ на финальном этапе анодирования или постанодное химическое травление Al_2O_3 в 5 % растворе H_3PO_4 при $40^\circ C$ в течение различного времени от 7 до 25 мин. Было показано, что путем регулирования электрохимических условий можно получать высокие гидрофильные параметры с краевым углом смачивания до $17\text{--}20^\circ$ при использовании высоких значений плотности тока, времени анодирования и температуры электролита. Было установлено, что полученные Al_2O_3 -покрытия с толщиной 5–12 мкм имеют неупорядоченную разветвленную пористую структуру с диаметром пор от 120 до 180 нм, а после расширения пор химическим травлением – до 210 нм со значительным утонением и разрушением стенок пор (рисунок 1).

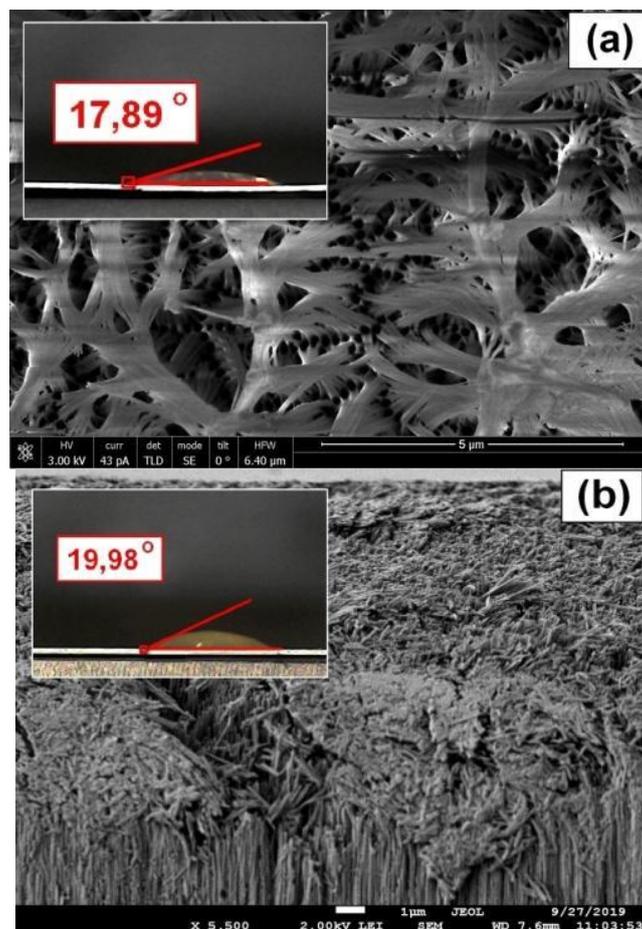


Рисунок 1 – СЭМ-фото покрытий на основе модифицированного пористого оксида алюминия с низкими значениями краевого угла смачивания:

- (a) – трехстадийное анодирование ($15\text{-}20\text{-}25\text{ мА/см}^2$), толщина $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 7\text{ мкм}$;
 (b) – двухстадийное анодирование ($15\text{-}20\text{ мА/см}^2$), толщина $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 5\text{ мкм}$

Таким образом, был проведен сравнительный анализ структурных и функциональных параметров Al_2O_3 -покрытий и установлено влияние технологических режимов и морфологии поверхности на значения краевого угла смачивания. Результаты показали, что подобного типа модифицированные структуры Al_2O_3 обеспечивают прямые экспериментальные доказательства теории трехмерных капилляров относительно супергидрофильности.

Список использованных источников

1. Бойнович, Л. Б. Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение / Л. Б. Бойнович // Успехи химии. – 2008. – Т. 77, № 7. – С. 619–638.
2. Shimanovich, D. L. Preparation and morphology-dependent wettability of porous alumina membranes / D. L. Shimanovich [et al.] // Beilstein J. of Nanotechnology. – 2018. – Vol. 9. – P. 1423–1436.
3. Redon, R. Contact angle studies on anodic porous alumina / R. Redon [et al.] // Journal of Colloid and Interface Science. – 2005. – Vol. 287. – P. 664–670.

4. Yao, L. Self-assembly of diverse alumina architectures and their morphology-dependent wettability / L. Yao [et al.] // Materials Research Bulletin. – 2011. – Vol. 46. – P. 1403–1408.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ДВУХСТОРОННИХ АЛЮМООКСИДНЫХ ОСНОВАНИЙ С ОТВЕРСТИЯМИ ДЛЯ МНОГОКРИСТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Шиманович Д. Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ShDL@tut.by

Аннотация. Проведен сравнительный анализ влияния оптимизированных технологических методов, приемов и режимов на повышение электроизоляционной прочности диэлектрических покрытий двухсторонних алюмооксидных оснований как на сплошной поверхности, так и в сквозных переходных отверстиях для потенциальных применений в силовых многокристальных модулях. Установлено, что для обеспечения высоких пробивных напряжений необходимо выполнять грунтовку (заполнение пор) пористого анодного оксида алюминия и залечивание дефектных микротрещин Al_2O_3 в переходных отверстиях кремнийорганическим лаком в ультразвуковой ванне. Показано, что после применения соответствующих технологических приемов значения пробивных напряжений изготовленных тестовых образцов составляли до ~6 кВ на рабочих поверхностях без отверстий и до ~2 кВ в переходных отверстиях.

摘要。对优化的技术方法、技术和制度对提高固体表面和通孔中的双面氧化铝涂层的介电强度的影响进行了比较分析,以便在功率多芯片模块中的潜在应用。已经确定,为了确保高击穿电压,有必要在超声波浴中用有机硅清漆填充(填充孔隙)多孔阳极氧化铝并修复通孔中有缺陷的 Al_2O_3 微裂纹。结果表明,在应用适当的工艺方法后,制造的测试样品的击穿电压值在无孔工作表面上高达~6 kV,在通孔中高达~2 kV。

Целью исследований являлась разработка методов и приемов с применением оптимизированных технологических режимов для улучшения электроизоляционной прочности анодного Al_2O_3 в переходных отверстиях двухсторонних алюмооксидных оснований для перспективного использования в силовых многокристальных модулях [1–3].

Предварительные экспериментальные исследования изготовленных алюмооксидных оснований с матрицами переходных отверстий показали, что в процессе электрохимического анодирования на стыке горизонтальной и вертикальной поверхностей в переходных отверстиях неизбежно появлялись микротрещины из-за конкурирующих в разных направлениях фронтов анодирования, перестройки пористой структуры и возникающих механических напряжений, даже если на сплошной поверхности алюмооксидных оснований микротрещины полностью отсутствовали.