

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ СКВОЗНЫХ НАНОПОРИСТЫХ АЛЮМООКСИДНЫХ СТРУКТУР С ИМПЛАНТИРОВАННЫМИ АЛЮМИНИЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Д.Л. Шиманович

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Республика Беларусь, 220013, Минск, ул. П. Бровки, 6

ShDL@tut.by

Аннотация: Исследованы технологические особенности формирования одновременно имплантированных алюминиевых элементов толщиной 5–100 мкм и свободных анодных нанопористых Al_2O_3 структур путем использованием двухстороннего сквозного электрохимического анодирования. Показано, что толщина свободной алюмооксидной пластины, расположение и размеры встроенной в ее объеме системы межсоединений могут варьироваться технологическими параметрами.

Ключевые слова: алюминий, электрохимическое анодирование, нанопористый оксид алюминия, барьерный слой, двухстороннее сквозное анодирование, биполярное анодирование, имплантированный элемент, система межсоединений.

Анализ возможностей алюмооксидной технологии и проведенных исследований [1-5] показал, что, используя комбинированное сочетание процессов фоторезистивного маскирования, двухстороннего сквозного анодирования и химического травления исходных алюминиевых пластин, можно одновременно формировать несущие основания и системы алюминиевых межсоединений, встроенных внутри диэлектрического тела пластин из свободного анодного оксида алюминия с односторонним или двухсторонним выходом на поверхность контактных площадок, что может найти применение при создании элементной базы радиоэлектронных систем. Связанное с этим научное направление является весьма актуальным, если учесть, что исключается применение процессов вакуумного напыления или электрохимического осаждения металлических пленок, и можно варьировать толщиной встроенных коммутационных элементов и глубиной их залегания в объеме диэлектрика.

Разработана методика изготовления Al_2O_3 пластин, которые выполняют роль несущих диэлектрических оснований и одновременно служат межэлементной диэлектрической средой для встроенной металлизации. Последовательность технологических операций формирования таких сквозных алюмооксидных структур с имплантированными проводящими элементами отображена на рис. 1. Ее сущность заключается в том, что вначале на предварительно подготовленную и отполированную Al пластину толщиной 150–200 мкм наносили в два этапа фоторезистивные маски проводников и контактных площадок по схеме разнотемпературного задубливания (соответственно

$T = 120^{\circ}\text{C}$ и $T = 180^{\circ}\text{C}$). Затем открытые места Al анодировали на необходимую толщину в 7% щавелевой кислоте ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) при температуре $16-18^{\circ}\text{C}$ в гальваностатическом режиме при плотности тока $25-35 \text{ mA/cm}^2$, селективным химическим травлением в растворе $\text{CrO}_3:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}$ при температуре 85°C удаляли выращенный Al_2O_3 с образованием микрорельефа, осуществляли вторую стадию анодирования в том же электролите, снимали слабозадубленные фоторезистивные маски с мест формируемых встроенных проводников и проводили двухстороннее сквозное анодирование уже всей открытой поверхности оснований.

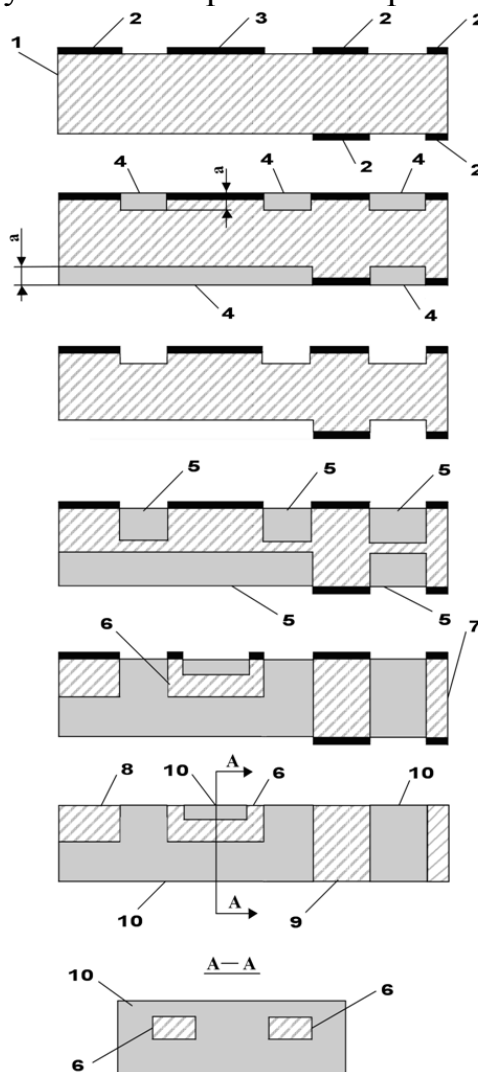


Рис. 1. Последовательность формирования встроенной системы металлизации в объеме свободных Al_2O_3 пластин: 1 – алюминий, 2 – сильнозадубленные ($T = 180^{\circ}\text{C}$) фоторезистивные маски, 3 – слабозадубленные ($T = 120^{\circ}\text{C}$) фоторезистивные маски, 4 – слой оксида алюминия после первого анодирования, 5 – слой оксида алюминия после второго анодирования, 6 – встроенный Al проводник с контактными площадками, 7 – разделительный слой, 8 – Al проводник на поверхности платы, 9 – переходный Al проводник, 10 – Al_2O_3 .

Так как толщина Al в местах, соответствующих будущим зонам межэлементного разделения меньше, то они анодировались полностью до смыкания встречнорастущих Al_2O_3 слоев, а на других участках анодирование прекращалось с образованием встроенных внутри оксида проводников. Причем, какой величины был сделан уступ микрорельефа, такой же толщины формировались Al проводники внутри Al_2O_3 пластин. Сильнозадубленные фоторезистивные маски, соответствующие контактными площадкам и переходным проводникам, снимались после завершения анодирования с образованием выхода Al на поверхность конечной структуры. Получены встроенные коммутационные элементы с толщиной Al от 5 до 100 мкм и различной глубиной их залегания в объеме Al_2O_3 пластин. С целью планаризации поверхности коммутационных плат необходимо осуществлять расчет времени анодирования и толщины анодных слоев. Важно учитывать, что в результате электрохимического процесса анодирования существует коэффициент объемного роста при превращении Al в Al_2O_3 , который равен 1,4–1,6.

Следует заметить, что в полученных двухсторонним сквозным анодированием коммутационных пластинах между двумя барьерными слоями Al_2O_3 могут оставаться вкрапления Al из-за различия в толщине исходных алюминиевых пластин и поверхностных микродефектов. Такие вкрапления Al могут образовывать мостики закорачивания между встроенными проводниками. Устранение этих вкраплений Al осуществлялось дополнительным биполярным анодированием. Для этого пластина устанавливается в двухкамерной химической ванне, в катодную камеру которой заливается электролит анодирования, а в анодную – буферный электролит, и на электроды подается напряжение, равное или несколько большее предшествующему при сквозном анодировании. Al во вкраплениях анодируется, а в местах без вкраплений, благодаря буферному электролиту, создается электрическое сопротивление цепи, равное сопротивлению анодирования, что исключает пробой Al_2O_3 . Процесс ведется до полного проанодирования этих Al вкраплений. Однако необходимо учитывать тот факт, что при вынужденном использовании такой методики толщина встроенных проводников уменьшается на величину, равную толщине внутренних Al включений. Поэтому важным моментом в предлагаемой технологии является качественная подготовка поверхности исходных алюминиевых заготовок, чтобы упростить процесс изготовления.

Эффект и сравнительная оценка применения биполярного анодирования представлены на рис. 2, а на рис. 3 показаны фото вариантов изготовленных структур по изложенной технологии.

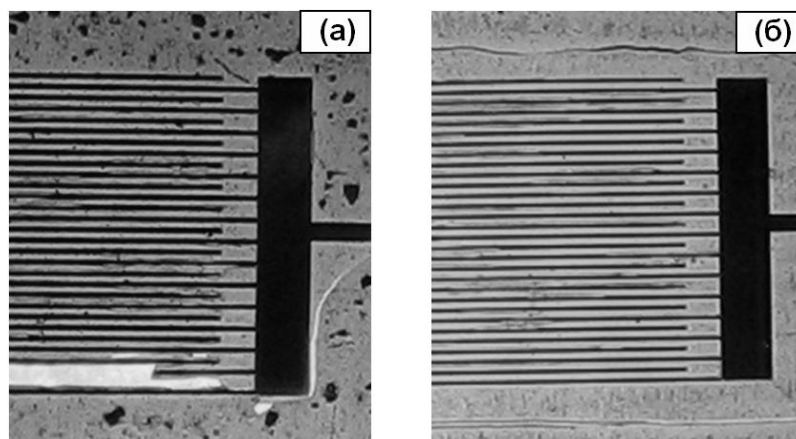


Рис. 2. Сравнительная оценка влияния процесса биполярного анодирования: а) до проведения биполярного анодирования, б) после биполярного анодирования.

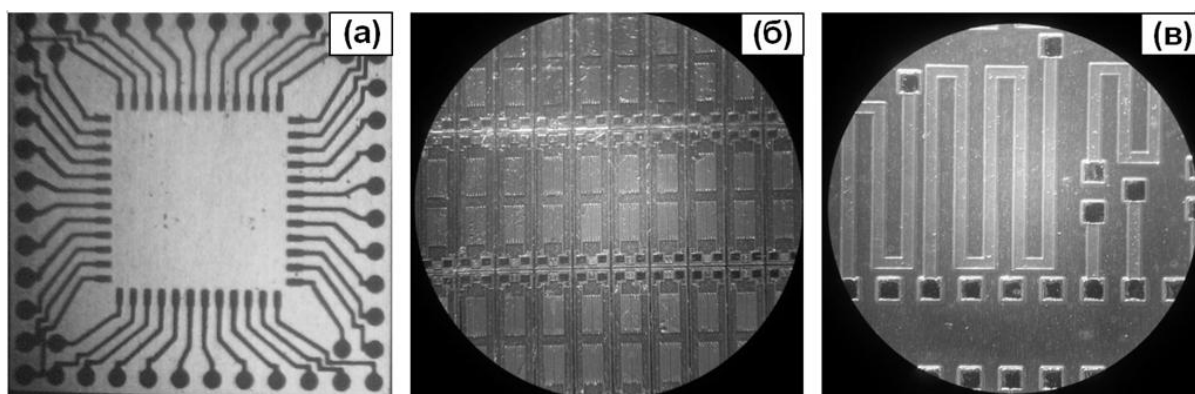


Рис. 3. Фото вариантов изготовленных структур со встроенными коммутационными элементами: а) кристаллодержатель, б) меандры, в) тестовый набор проводниковых элементов.

Библиографический список:

1. Шиманович, Д.Л. Технологические способы формирования Al_2O_3 -пластин в качестве оснований для структур СВЧ-диапазона / Д.Л. Шиманович // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: сборник материалов 23-ей международной Крымской конференции, Севастополь (8-13 сентября 2013 года). – Севастополь: Изд-во Севастопольского национального технического университета, 2013. – С. 736-737.
2. Сокол, В.А. Исследование профилей на границе раздела $Al-Al_2O_3$ при глубоком локальном анодировании Al / В.А. Сокол, Д.Л. Шиманович, В.С. Сякерский // Доклады БГУИР. – 2009. – № 6 (44). – С. 36-41.
3. Сокол, В.А. Особенности применения пористых оксидов алюминия / В.А. Сокол, В.А. Яковцева, Д.Л. Шиманович // Доклады БГУИР. – 2012. – № 2 (64). – С. 21-27.
4. Литвинович, Г.В. Технологические особенности формирования плат со встроенной системой межсоединений в подложках анодного оксида алюминия / Г.В. Литвинович, Д.Л. Шиманович // Доклады БГУИР. – 2013. – № 3 (73). – С. 39-44.
5. Сокол, В.А. Технологические приемы формирования $Al-Al_2O_3$ микроструктур для мощных электромеханических систем / В.А. Сокол, Д.Л. Шиманович, Г.В. Литвинович // Доклады БГУИР. – 2012. – № 8 (70). – С. 44-49.