

Заключение. Экспериментальные результаты свидетельствуют о наличии геометрического резонанса в созданной структуре. При этом следует отметить, что в АЧХ проявляется линия поглощения с достаточно высоким затуханием. Частотная зависимость емкости затухания находится в качественном согласии с предполагаемыми свойствами образцов. Особенностью является наличие второго максимума затухания, не связанного с резонансом-антирезонансом. Предположительно, появление этого пика связано с геометрической структурой образцов.

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЧИП-ФИЛЬТРОВ СВЧ ДИАПАЗОНА

Ю.И. Бохан, И.А. Якуто***

**Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова; **Витебск, ТО «КП» ОАО «ВЗРД “Монолит”»*

Многослойная монолитная конструкция является самой перспективной конструкцией керамических конденсаторов низкого напряжения. Она позволила снять ограничения по толщине диэлектрика, присущие другим конструкциям вследствие недостаточной механической прочности керамики в тонких слоях, расширить пределы толщин диэлектрика на 2 порядка, увеличить количество параллельно соединенных пластин до нескольких десятков. Благодаря появлению монолитных конденсаторов диапазон номинальных емкостей керамических конденсаторов возрос более чем в 100 раз, а их удельная емкость - на несколько порядков.

Материал и методы. В качестве материала электродов монолитных конденсаторов применяются палладий, платина, платино-палладиевые сплавы. В последние годы для снижения материалоемкости конденсаторов преимущественно используется сплав 70% Ag- 30%Pd.

По аналогии со структурой монолитного конденсатора предложена конструкция гибридного фильтра (рисунок 1).

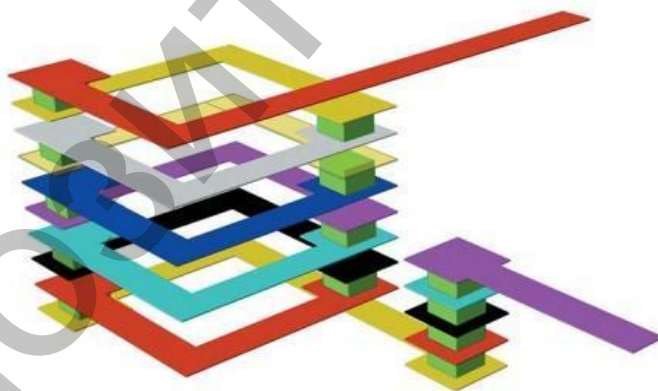


Рисунок 1 – Конструкция монолитного гибридного фильтра

В предлагаемой конструкции гибридизация осуществляется за счет чередования диэлектрических (пьезоэлектрических) и ферритовых слоев. Такая конструкция позволяет без существенных переделок использовать существующую технологию производства. При этом удастся осуществить требуемую коммутацию элементов. Керамические материалы только в процессе обжига приобретают плотную, монолитную структуру и все присущие им физические свойства. В результате обжига пористость заготовок резко уменьшается, заготовки претерпевают усадку.

Результаты и их обсуждение. Качество фильтров в значительной степени связано с процессами, происходящими на ранних стадиях термообработки. Поэтому этот процесс

выделен в отдельную технологическую операцию спекания – сушка, утильный (предварительный) и окончательный обжига. Цель обжига – удаление остатков растворителей и органической составляющей диэлектрика и электрода с минимальными нарушениями микроструктуры. Сложные химические процессы при термическом удалении органики связаны с такими физическими факторами, как: размер пор, объемная доля органики, вязкость расплава и органики, поверхностное натяжение.

При изготовлении опытных образцов фильтров применялись готовые пьезокерамические и ферритовые порошки. При разработке конструкции и технологии изготовления многослойного изделия учитывалось, что феррит и пьезокерамический материал имеют различные усадки при спекании.

Техническое решение заключалось в том, что для сборки многослойного группового пакета в качестве пьезокерамической составляющей использовалась пленка толщиной $28,5 \pm 1,5$ мкм, полученная методом шликерного литья из пьезокерамического материала марки АС-900 с добавлением 9% ферритового порошка. В качестве ферритового слоя использовалась пленка толщиной $28,5 \pm 1,5$ мкм из ферритового порошка системы Fe-Ni-Zn, также полученная методом шликерного литья. Основными критериями при выборе рецептуры шликера являлись механическая прочность плёнки, её адгезивные свойства, а так же технологичность при сборке групповых пакетов на линии РAL-3. Для обжига заготовок пьезофильтров использовалась камерная электропечь.

Практикой изготовления МКК выработаны некоторые рекомендации процесса удаления органики: использование, по возможности, в составе паст и пленок органических компонентов, имеющих различные температуры разложения и испарения, чтобы процессы испарения не накладывались по времени друг на друга; использование паст и шликеров с как можно более меньшим содержанием органики при сохранении необходимой вязкости. В реальных условиях производства регулирование процессов утильного обжига осуществляется с помощью информации, полученной при проведении термографического анализа керамических пленок, паст и сырых заготовок на дериватографе Q – 1500 Д. Параметры, по которым выбирается оптимальная температура в камерной печи – изменение веса (кривая ТГ), скорость изменения веса (ДТГ), изменение содержания тепла (ДТА).

В настоящее время обжиг заготовок конденсаторов в ОАО «ВЗРД «Монолит» осуществляется в камерных печах модели N200/HDB Nabertherm» Германия, имеющими ряд преимуществ перед ранее используемыми туннельными печами:

- возможность совмещенного предварительного и окончательного обжига в одном процессе без промежуточного охлаждения изделий;
- однородность температуры в рабочем объеме камеры, которая достигается за счет расположения нагревательных элементов и циркуляции предварительно подогретого воздуха;
- потребляемая мощность камерной печи составляет ~ 10кВт, в энергоемких туннельных печах – 30кВт.

Общий вид камерной печи модели N200/HDB ф. «Nabertherm» представлен на рисунке 2



Рисунок 2 – Камерная печь N200/HDB

При окончательном обжиге происходит непосредственное спекание керамики и металла, которое характеризуется упрочнением и усадкой заготовок. Обжиг заготовок пьезофильтров производился в алундовых тиглях для обеспечения требуемой среды для спекания свинецсодержащей керамики.

В ходе опытных работ для камерной печи составлена программа обжига № 1. Общее время утильного обжига составило 36 часов, максимальная температура обжига – 940°C, выдержка – 2 часа. При обжиге заготовок по данному режиму, заготовки имели цветовую тональность. Согласно протокола микроструктурного анализа заготовки имеют высокую пористость, в пьезоматериале поры не сформированы (продолговатой формы). При проверке спеченности данных изделий сопротивление изоляции после увлажнения составило около 3500 МОм, что также свидетельствует о неоптимальном режиме обжига.

По результатам анализа качества керамики и феррита была составлена программа №2, в которой максимальная температура обжига была увеличена с 940 °С до 950 °С. После обжига заготовок по кривой №2 значения сопротивления изоляции отдельных заготовок в выборке не превышало 4000 МОм. Цветовая тональность не наблюдалась.

В результате программа обжига скорректирована в части увеличения максимальной температуры до 955°C и времени утильного обжига до 56 часов в зоне температур 120°C-320 °С, в сравнении с программой обжига № 1 время утильного обжига было увеличено на 23 часа.

Заготовки, обожженные по программе № 3 с удлиненным циклом утиля (59 часов) и $T_{обж} = 955$ град, имеют пористость, характерную для керамического материала АС-900. При этом уровень сопротивления изоляции после увлажнения заготовок составил 14×10^6 МОм.

Таким образом, в ходе проведения опытных работ подобран режим спекания заготовок многослойных фильтров, обеспечивающих требуемое качество спекания пьезоматериала и феррита.

Окончательный обжиг

При окончательном обжиге происходит собственно спекание заготовки керамики и металла, которое характеризуется: а) упрочнением, т.е. образованием достаточно прочного твердого тела из конгломерата непрочных связанных частиц или зерен; б) усадкой, т.е. изменением объема и пористости спекаемого тела. Уплотнение от первоначальной пористости от 50-70% до близкой к 100% от теоретической приводит к уменьшению линейных размеров на 15-20%.

От конечной пластичности керамики и степени кристаллизации зависят механические и электрические свойства фильтров. Микроструктура спеченных материалов зависит от: 1) характеристик исходного порошка (размер и форма частиц, распределение по размерам, степени агломерации); 2) технологических режимов синтеза исходных компонентов; 3) чистоты, т.е. наличия примесей; 4) начальной плотности керамики в сырой заготовке; 5) режимов обжига, которые включают – скорость подъема и снижения температуры, значение максимальной температуры обжига, время выдержки при конечной температуре и газовая фаза в печи.

Заключение. Структура спеченной керамики поликристаллическая, зерна, представляющие собой монокристаллы основной фазы разделены межкристаллитной прослойкой, содержащей стеклообразующие добавки, компоненты второй фазы и примеси. При спекании происходит рост зерен за счет слияния мелких зерен, при этом увеличивается толщина межзеренного слоя. При увеличении температуры и времени выдержки при максимальной температуре рост диаметра зерен достигает насыщения, но продолжается движение примесей в направлении границ зерен. Концентрация примесей в межкристаллической прослойке увеличивается, электрическая прочность прослойки понижается.