

## Развитие технологии производства диэлектрического материала с $\epsilon \sim 80$ .

А.А. Смирнова, В.М. Коломин, Н.С. Карасёв, Д.Н. Полозов, Ю.И. Тодосечук

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** Работа посвящена исследованию возможности применения способа формования изделий из диэлектрического материала с  $\epsilon \sim 80$ , методом литья пленки. Экспериментальные образцы, полученные методом литья пленки проверены на соответствие техническим условиям на материал с  $\epsilon \sim 80$ .

**Ключевые слова:** керамический материал, диэлектрик, пленочная технология формования, диэлектрическая проницаемость, функциональная керамика.

### 1. Введение

В радиолокации, особенно специального назначения, в настоящее время широко применяются активные фазированные антенные решётки (АФАР), они позволяют суммировать в пространстве мощности большого числа передающих модулей, управлять диаграммой направленности и производить электронное сканирование пространства приёмопередающей антенны [1]. Электронное сканирование позволяет осуществлять обзор окружающего пространства, сопровождение движущихся объектов и определение их угловых координат [1].

Прогресс в области производства АФАР привел к увеличению спроса на подложки из материалов с высокой диэлектрической проницаемостью в качестве согласующих элементов усилительных устройств. Для обеспечения всего комплекса разработок с использованием диэлектрических материалов и изделий из них в АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина» разработаны и производятся, методом одноосного прессования, следующие диэлектрические материалы: БЦНТ с  $\epsilon \sim 30$ , ЦТО с  $\epsilon \sim 40$ , БСТ с  $\epsilon \sim 80$ . Разработанные материалы соответствуют мировому уровню аналогичных типов [2]. Материал БСТ успешно нашел применение при разработке и последующем производстве усилительных устройств АФАР. Для удовлетворения потребностей выпуска АФАР было организовано производство пластин с формообразованием посредством одноосного прессования. Данный процесс позволяет получать пластины с требуемым комплексом параметров, но характеризуется относительно большим удельным расходом исходного материала БСТ и повышенной трудоемкостью процесса механической обработки керамики.

Учитывая дефицитность и высокую стоимость исходных редкоземельных оксидов самария и неодима, входящих в материал БСТ, возрастающую потребность в материале БСТ и в пластинах большей площади актуальным становится разработка процесса изготовления пластин с более высокими технико-экономическими показателями.

Поддерживать технический и технологический уровень, без изменения стоимости конечного изделия, разработанных диэлектрических материалов в условиях неопределённости поставщиков исходных материалов ставит комплекс задач для современного технолога. Разработчику конечного прибора критически важно применять изделия из керамики с повторяющимися параметрами диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ), тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ), а также без изменения требований к процессу последующей эксплуатации.

Учитывая обозначенный комплекс задач, работа посвящена исследованию возможности применения метода формования изделий из диэлектрического материала БСТ с  $\varepsilon \sim 80$  литьем пленки и последующим изготовлением пластин с заданной толщиной.

## 2. Экспериментальная часть

Формование керамических изделий в большинстве ведут двумя классическими способами: прессованием из пресс-порошков и шликерным литьем из литейных шликеров. В свою очередь эти способы имеют большое количество разновидностей, отличающихся между собой усилиями формования, способами приложения их к материалу и специальной оснасткой - пресс-формами, а также различными приспособлениями. Общая цель всех методов формования – упорядочить дисперсный материал, придать ему нужную форму и сохранить эту форму без разрушения до обжига, при котором происходит образование единой прочной керамической заготовки.

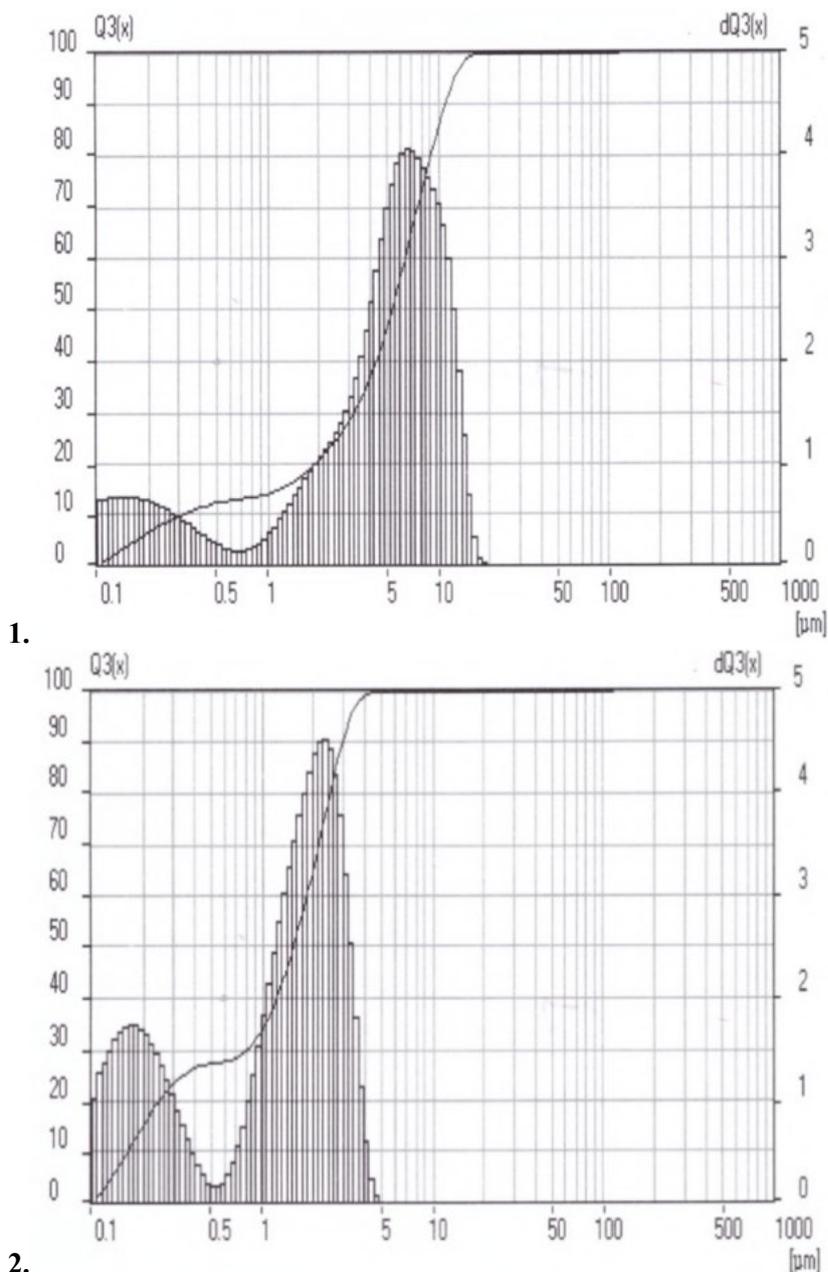
Основные способы формования керамической заготовки базируются на том, что для придания изделию необходимой формы требуется усилие, обратно пропорциональное содержанию связки в формируемой массе. Так литье шликера протекает практически при атмосферном давлении (0,1 МПа); прессование производится под давлением 10-100 МПа. Важно отметить еще одну особенность - чем больше усилие прилагается для придания формы, тем больше вероятность получения неравноплотной заготовки изделия. При последующих операциях на таких заготовках будут образовываться дефекты - трещины, сколы, кривизна поверхности.

Исследуемый способ формования пленочное литье имеет ряд преимуществ перед классическим способом формования - прессованием:

1. Получение изделий больших габаритов до (200x200 мм) без изготовления дополнительной дорогостоящей оснастки.
2. Уменьшение затрат материала на изготовление заготовки, так как возможно формировать толщины менее 1 мм.
3. Получение ровного плотноспеченного образца после операции термической обработки из-за отсутствия внутренних напряжений и градиента распределения давления.

В методе литья пленки применяются связки и растворители (рыбий жир, синтоминд, метилэтилкетон, спирт этиловый и др.), содержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые способствуют равномерному распределению материала по всему объему заготовки. Технология позволит использовать гораздо меньше материала и обеспечит уменьшение затрат на операции механической обработки.

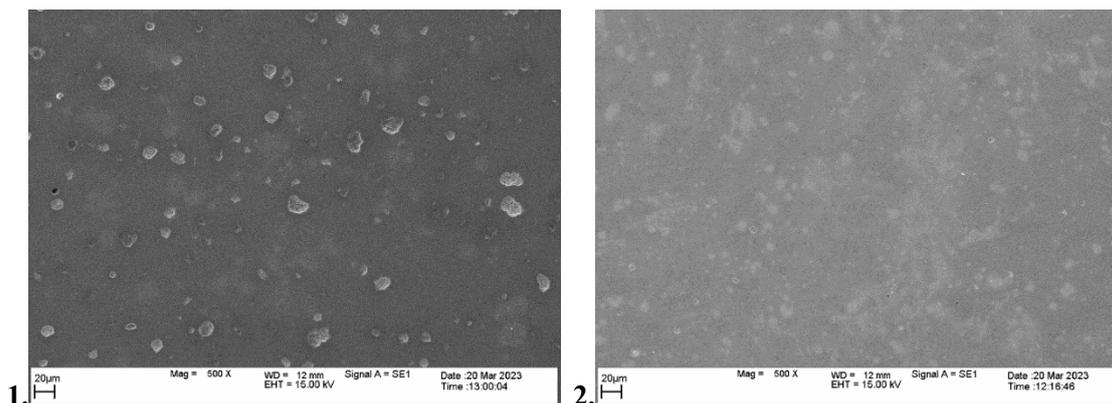
Ключевой операцией формирования изделия методом литья является получение необходимого гранулометрического состава шихты из материала БСТ. Средний размер частиц материала БСТ для прессования составляет примерно 5,3 мкм. Для успешного опробования метода литья пленки требуется резкое уменьшение среднего размера частиц до 1,5 мкм для получения необходимой вязкости и равномерного распределения частиц материала БСТ в пленке. Результаты гранулометрических исследований приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Диаграмма гранулометрического состава материала БСТ: 1. для формования методом прессования; 2. для формования методом литья пленки.

В ходе исследований использовался помол на валковой мельнице с использованием яшмовых шаров, при этом требуемого гранулометрического состава удалось добиться изменением скорости вращения валков.

Получив необходимый гранулометрический состав шихты материала БСТ была изготовлена опытная партия пластин методом литья. Проведено сравнение поверхностей готовых изделий, полученных в ходе проведения работы методами прессования и пленочным литьем. Из рисунка 2 видно различие поверхностей, изготовленных разными способами формования. При одинаковом увеличении микроскопа в случае с пленочным литьем наблюдаем более ровную поверхность. Таким образом, визуально определено, что поверхность пластины из материала менее пористая, что связано с оптимальным распределением шихты в объеме заготовки.



**Рисунок 2.** Поверхность образцов пластин после операции механической обработки (полировка): 1. - прессование, 2. - пленочное литье

Дополнительно проведены измерения основных электрофизических параметров материала БСТ полученного методом пленочного литья. Свойства материала соответствуют значениям, указанным в ТУ на материал.

Таблица 1. Результаты проведенных исследований

	$\epsilon$	$Q$	ТКЧ	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Нормы по ТУ 2123-002-07622667-2022	75-80	1300, не менее	$(-4...+14) \cdot 10^{-6}$	5,3, не менее
Экспериментальные данные	75-77	1300, не менее	$(0...+2) \cdot 10^{-6}$	5,5, не менее

### 3. Заключение

В связи с возрастающей потребностью в пластинах из материала БСТ большей площади задача усовершенствования процесса формования является актуальной. Коллективом авторов успешно исследована возможность изготовления пластин из материала БСТ методом литья пленки. Разработана технология подготовки шихты материала БСТ к операции изготовления шликера для последующего процесса литья пленки. Особенность технологии заключается в получении среднего размера частиц шихты материала БСТ в пределах 1,5 мкм. Также важной частью технологии является подбор соотношения связок, растворителей, содержащих поверхностно-активные вещества для изготовления шликера на основе материала БСТ. Подобрана связка обеспечивающая оптимальное распределение частиц материала в объеме шликера.

Из пленки материала БСТ изготовлены плотноспеченные образцы и проведены измерения электрофизических параметров. Результаты проведенных измерений соответствуют нормам ТУ 2123-002-07622667-2022 на материал БСТ. Дополнительно исследована поверхность спеченного образца после механической обработки. Качество поверхности образца отличается меньшей пористостью в сравнении с образцом полученным методом прессования.

#### Список литературы

1. Иовдальский В.А., Приёмопередающие модули АФАР СВЧ-диапазона: учебное пособие /Иовдальский В.А., Далингер А.Г., Соколов И.А., Карасев М.С./ под ред. А.А. Борисова. –М.: КУРС, 2021.
2. Коломин В.М., Диэлектрические резонаторы для изделий электронной техники СВЧ-диапазона: учеб. пособие / В.М. Коломин, В.Н. Рыбкин, В.А. Иовдальский, И.А. Соколов. – М.: КУРС, 2021. – 150 с.