

## Ферриты для LTCC-технологии

А.Д. Белянин<sup>1,2</sup>, М.И. Ларионов<sup>2,3</sup>, В.И. Иванова<sup>2</sup>, А.А. Иванов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

<sup>2</sup>АО «НИИ «Феррит-Домен»

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт

**Аннотация:** Исследованы методы снижения температуры спекания ферритов для LTCC технологии. Проведены исследования по снижению температуры спекания добавлением оксида висмута сверх состава. Разработан новый состав низкоспекаемого феррита (патент №2859021) с добавлением оксида висмута (III) ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) и оксида меди (II) ( $\text{CuO}$ ), который в пленочном исполнении повторяет характеристики объемного материал.

**Ключевые слова:** LTCC технология; низкоспекаемый феррит; снижение температуры обжига феррита; пленочный феррит.

Современные тенденции развития СВЧ-электроники диктуют жесткие требования к миниатюризации устройств, повышению их функциональной плотности и снижению стоимости. Если не так давно многие керамические материалы служили только основой (подложкой) для нанесения токопроводящих дорожек и установки навесных компонентов, то уже сегодня требуется не просто многослойные керамические СВЧ платы, но и целые трехмерные интегральные системы. Эту задачу эффективно решает LTCC технология (Low temperature co-fired ceramic).

Технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC) зарекомендовала себя как надежный способ для создания многослойных модулей с высокой интеграцией пассивных компонентов. Стандартные ферриты спекаются при температурах 1300 – 1400 °С, что несовместимо с LTCC процессом, где температура обжига ограничена температурой плавления электродов из серебра (961 °С). В связи с этим, исследование и разработка низкоспекаемых ферритовых материалов является одной из ключевых задач современной СВЧ-электроники [1,2,3].

Целью данной работы было исследовать возможность получения низкоспекаемого феррита с температурой обжига  $t = 850$  °С и с начальной магнитной проницаемости  $\mu_n = (100 \pm 20)$  на частоте  $f = 100$  кГц для LTCC технологии.

В ходе исследования были изготовлены следующие образцы ферритов 1000НН с добавками  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и LTCC-феррит методом твердофазного синтеза (керамическая технология).

Исходные компоненты, взятые в необходимых соотношениях, тщательно перемешиваются в вибромельнице в течение 3 часов. Далее смесь загружается в аундовые тигли, и проводится синтез на воздухе. Измельчение синтезированной шихты производят по режиму, аналогичному первому помолу. Приготовление пресс-порошка проводят путём добавления полимерного связующего. Прессование осуществляется при удельном давлении 1 т/см<sup>2</sup>. Спекание проводят на воздухе при температуре  $t = 850$  °С, 950 °С для 1000НН+Bi ( $t = 850$  °С, 860 °С, 870 °С для LTCC-феррита). На образцах-свидетелях в виде кольцевых сердечников (K15×7×(5÷6) мм) определяли электромагнитные параметры: начальная магнитная проницаемость, тангенс магнитных потерь. Все измерения проводились на частоте  $f = 100$  кГц.

С целью получения низкоспекаемого феррита с нужными параметрами в состав 1000НН вводили сверх состава оксид висмута (III) ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), в количестве 2,5 % и 3,5 %. Поскольку оксид висмута во время спекания образует жидкую фазу вокруг частиц [4], что способствует интенсификации процесса спекания за счет увеличения диффузии веществ, что в свою очередь снижает температуру спекания феррита.

Результаты эксперимента показали, что добавление оксида висмута (III) сверхсостава, в количестве 2,5 % и 3,5 %, позволяет снизить температуру спекания до 900 °С, также начальная магнитная проницаемость равна 140, что не соответствует заявленной цели исследования.

Поэтому для достижения поставленной цели был рассчитан новый состав с добавками оксида висмута (III) ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) и оксида меди (II) ( $\text{CuO}$ ). (патент № 2859021) Параметры LTCC-феррита приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры LTCC-феррита при температурах обжига 850°С и 870°С

t = 850 °С				t = 870 °С			
№	$\mu_n$	$\text{tg}\delta_\mu$	$K_{yc}$	№	$\mu_n$	$\text{tg}\delta_\mu$	$K_{yc}$
1	115,596	0,032	1,16	9	117,238	0,036	1,16
2	111,807	0,03	1,15	10	117,191	0,036	1,16
3	111,135	0,028	1,16	11	116,391	0,033	1,16
4	111,397	0,028	1,16	12	115,397	0,033	1,16

\*  $\mu_n$  – начальная магнитная проницаемость;  $\text{tg}\delta_\mu$  – тангенс магнитных потерь;  $K_{yc}$  – коэффициент усадки.

Исходя из полученных результатов, можно сказать, что добавление оксида висмута (III) сверхсостава помогает снизить температуру спекания, но не дает необходимого значения начальной магнитной проницаемости. В ходе работы был получен новый низкоспекаемый ферритовый материал ( $t_{\text{спек}} = 850$  °С) с начальной магнитной проницаемостью ( $100 \pm 20$ ) за счет подбора химического состава (патент №2859021). Разработанный феррит может в дальнейшем применяться в LTCC- технологии для разработки помехоподавляющих фильтров и может заменить иностранные аналоги на российском рынке.

#### Список литературы

1. Черных В., Чигиринский С. Направления развития изделий из специальной керамики для производства электронной техники в России // Технологии. – 2012. – №4. – С. 176-182.
2. Mistler R.E., Twinaime E.R. Tape casting theory and practice. American ceramic society, 2000, 298 p. 4. Imanaka Y.
3. Multilayered low temperature cofired ceramics (LTCC) technology. Springer sci-ence, Fujitsu Laboratories, Japan, 2005, 229 p
4. Hsu J. Y. et al. Low temperature fired NiCuZn ferrite //IEEE Transactions on Magnetics. – 1994. – Т. 30. – №. 6. – С. 4875-4877.