

## **Опыт исследований по разработке диэлектрических резонаторов в системе оксидов Ва–Мг–Та со сверхвысокой добротностью для твердотельных СВЧ генераторов**

*Представлены результаты исследований по разработке диэлектрических резонаторов (ДР) в системе оксидов Ва–Мг–Та со сверхвысокой добротностью для твердотельных СВЧ генераторов. Особенность данных исследований заключается в использовании особой спекающей добавки и системы прессования заготовок. Определены направления дальнейших исследований для увеличения  $Q_0$  разрабатываемых ДР и оптимизации технологии их изготовления.*

**Ключевые слова:** диэлектрический резонатор, твердотельные СВЧ генераторы, функциональная керамика.

Развитие СВЧ электроники в значительной степени базируется на достижениях в области создания новых функциональных материалов и изделий из них.

Для твердотельной СВЧ техники весьма эффективными и востребованными остаются диэлектрические резонаторы (ДР) из термостабильных керамических материалов, обладающих малыми диэлектрическими потерями.

ДР изготавливаются из специальных термостабильных высокодобротных диэлектрических материалов с повышенной диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon \geq 20$ ) и обеспечивают для изделий на их основе малые массу и габариты, стабильность параметров, надежность, малые частотные шумы, простоту конструкции и другие преимущества. Для создания и производства таких изделий в АО НПП «Исток» им. Шокина» был разработан комплекс резонаторных термостабильных керамических материалов: 2БТ-9 ( $\text{Ba}_2\text{Ti}_9\text{O}_{20}$ ),  $\epsilon \sim 40-43$ ; ЦТО ( $\text{Zr, SnTiO}_4$ ,  $\epsilon \sim 42$ ; БЦНТ (оксиды Ва, Zn, Ni, Та),  $\epsilon \sim 30$  и БСТ (оксиды Ва, Sm, Ti),  $\epsilon \sim 75-80$  и ДР из них. Разработанные типы ДР имеют термостабильность (ТКЧ), добротность (Q), рабочий частотный диапазон от 2,5 до 40 ГГц соответствующий мировому уровню (фирмы “Murata” (Япония), TransTech, INC (США) и др). Для более низкочастотного рабочего диапазона  $\sim 600 \dots 3800$  МГц разработаны коаксиальные ДР из материалов ЦТО и БСТ, имеющие величину добротности  $\sim 400 \div 800$ .

В настоящее время ДР из материалов ЦТО и БЦНТ, как наиболее высокодобротные, ( $Q \sim 7000$  и  $Q \sim 10000$  соответственно на 10 ГГц), находят широкое применение в твердотельных приборах СВЧ-генераторах, фильтрах, работающих в частотном диапазоне  $\sim 3,5 \dots 18$  ГГц.

Для изделий специального назначения, как правило, характерны повышенные требования к электропараметрам ДР. Известны, выпускаемые за рубежом, ДР со сверхвысокой добротностью ( $Q_0 \geq 20000$  на  $F_0 \sim 10$  ГГц) из материала в системе оксидов Ва–Мг–Та (БМТ) с  $\epsilon \sim 24$ . Применение ДР со сверхвысокой добротностью в устройствах СВЧ-связи позволяет снизить уровень шумов, обеспечить более надежную защиту информации, использовать в более высоком частотном ( $X \dots K_a$ ) диапазоне длин волн. В связи с этим, наиболее актуальны вопросы создания отечественного аналога диэлектрических резонаторов со сверхвысокой добротностью.

В данной работе исследованы технологические возможности создания указанного

материала БМТ и ДР из него на основе имеющейся технологической базы выпуска ДР. При этом исследованы составы с исходными компонентами различной степени чистоты, опробованы разные способы измельчения исходных компонентов и шихты, методы твердофазного синтеза материала, различные виды прессования и режимы обжига с целью создания материала с заданной перовскитовой структурой и изготовления ДР из него.

В результате работы разработан состав материала БМТ позволяющий после спекания при  $T_{\text{обж}} \sim 1600$  °С в течение 35÷40 часов, получить экспериментальные образцы ДР с  $Q_0 \sim 17500$  на  $F_0 \sim 8,9$  ГГц и ТКЧ  $\sim 0,5 \div 2,5$  ppm/°С, для которых  $Q_0 * F_0 = 150500$  ГГц. Полученный материал БМТ имеет плотность (близкую к теоретической)  $\sim 7,5$  кг/см<sup>2</sup>, водопоглощение  $\sim 0,02 \div 0,06\%$ , кристаллическую структуру перовскита без промежуточных фаз.

Опытные образцы опробованы в ряде реальных изделий СВЧ.

Определены направления дальнейших исследований для увеличения  $Q_0$  разрабатываемых ДР и оптимизации технологии их изготовления.

#### Библиографический список:

1. Hiroyuki Matsumoto, Hiroshi Tamura and Kikuo Wakino, Ba(Mg, Ta)O<sub>3</sub>-BaSnO<sub>3</sub> High-Q Dielectric Resonator The Japan Society of Applied Physics, 1991.
2. X. M. CHEN, Y. SUZUKI, N. SATO, Sinterability improvement of Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> dielectric ceramics, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE: MATERIALS IN ELECTRONICS, 1994.
3. Hitoshi Ohsato, Microwave Dielectrics with Perovskite-Type Structure, Licensee InTech, 2016.