

# Микрополосковая антенна L-диапазона на основе керамического диэлектрика

А.С. Антонова<sup>1</sup>, А.С. Анохин<sup>1</sup>, А.С. Антонов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>АО «НПП «Радар ммс», г. Санкт-Петербург

**Аннотация:** представлены результаты исследования малогабаритной антенны на основе твердого раствора титаната магния-стронция. Приведены зависимости габаритов антенны от диэлектрической проницаемости подложки и КПД антенны от толщины подложки. Определен диапазон значений требуемой диэлектрической проницаемости материала подложки. В качестве основы керамического материала выбран твердый раствор титаната магния-стронция. Определены пропорции магния и стронция. Приведены характеристики антенны, полученные в результате моделирования.

**Ключевые слова:** керамика, антенны, ГЛОНАСС, титанат стронция, титанат магния

## 1. Введение

Современные тенденции разработки отечественных навигационных систем являются актуальными [1]. Развитие навигационной аппаратуры потребителя (НАП) требует своевременного обновления используемой элементной базы. В настоящее время в помехозащищенной НАП все чаще используют сверхкомпактные антенные решетки (АР) [2]. Сверхкомпактными называют АР, у которых расстояние между геометрическими центрами одиночных элементов существенно меньше половины длины волны на рабочей частоте. К одиночным элементам таких решеток предъявляются жесткие требования по габаритам – не более четверти длины волны на рабочей частоте. Данное требование обусловлено необходимостью уменьшения взаимного влияния элементов. По ряду критериев в качестве элементов антенных решеток НАП оптимальным является использование микрополосковых антенн (МПА) [3]. Способом уменьшения размеров МПА является использование в качестве материала подложки диэлектрика с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon_r$ . Высокими значениями  $\epsilon_r$  (~10...120) при относительно невысоком значении тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  (не более  $10^{-4}...10^{-3}$ ) в диапазоне частот  $L$  обладают керамические диэлектрики [4]. Целью данной работы являются исследование возможности применения керамики  $(1-x)MgTiO_3-xSrTiO_3$  в качестве подложки для малогабаритной МПА.

## 2. Анализ требований к керамике

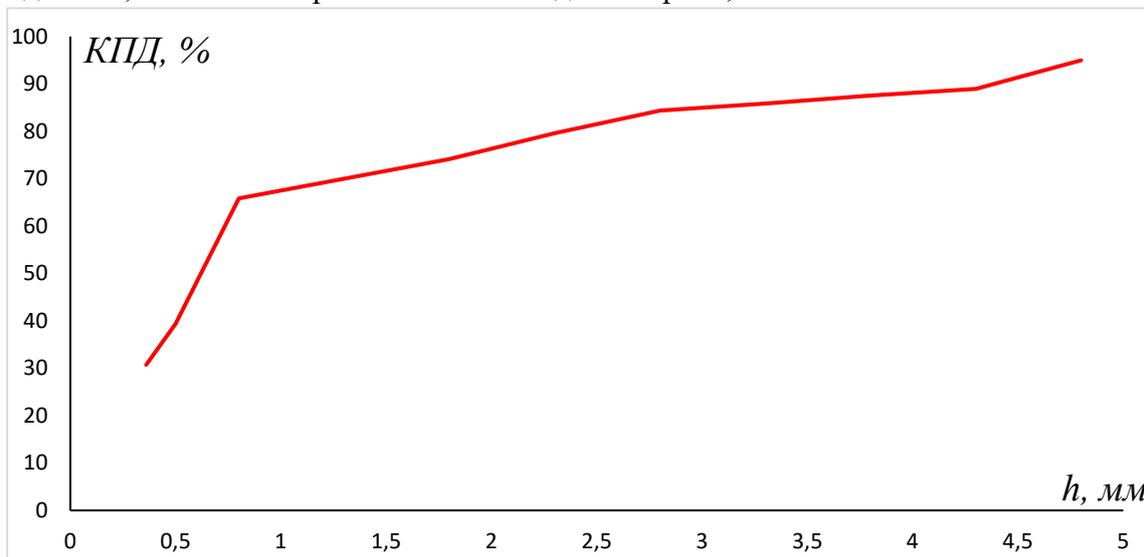
Зависимость размера излучающей пластины МПА определяется согласно выражению [5]:

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon_r}}, \quad (1)$$

где  $a$  – размер стороны излучающей пластины,  $\lambda$  – длина волны. На рисунке 1 приведена зависимость коэффициента полезного действия (КПД) МПА от толщины подложки  $h$ . Зависимость получена с помощью электродинамического моделирования методом конечных элементов при фиксированных значениях  $\epsilon_r = 30$  и  $tg\delta = 0,0008$  для диапазона  $L$ . Полосу рабочих частот МПА можно оценить, как [6]:

$$BW = \frac{16phWq}{3\sqrt{2e_r}\varepsilon_r\lambda L}, \quad (2)$$

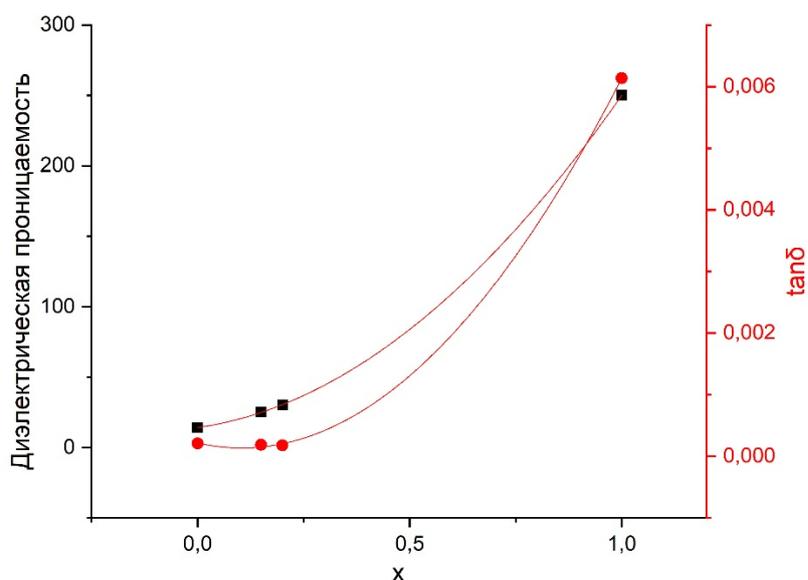
где  $W$  – ширина МПА,  $L$  – длина МПА,  $p = 1 - \frac{1,6605}{20}(k_0W)^4 - 0,00119142(k_0L)^2$ ,  $q = 1 - \frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{2}{5\varepsilon_r^2}$ ,  $e_r$  – КПД антенны, связанный с возбуждением поверхностных волн в подложке, а также потерями в металле и диэлектрике,  $k_0$  – волновое число.



**Рисунок 1.** Зависимость КПД МПА от толщины подложки

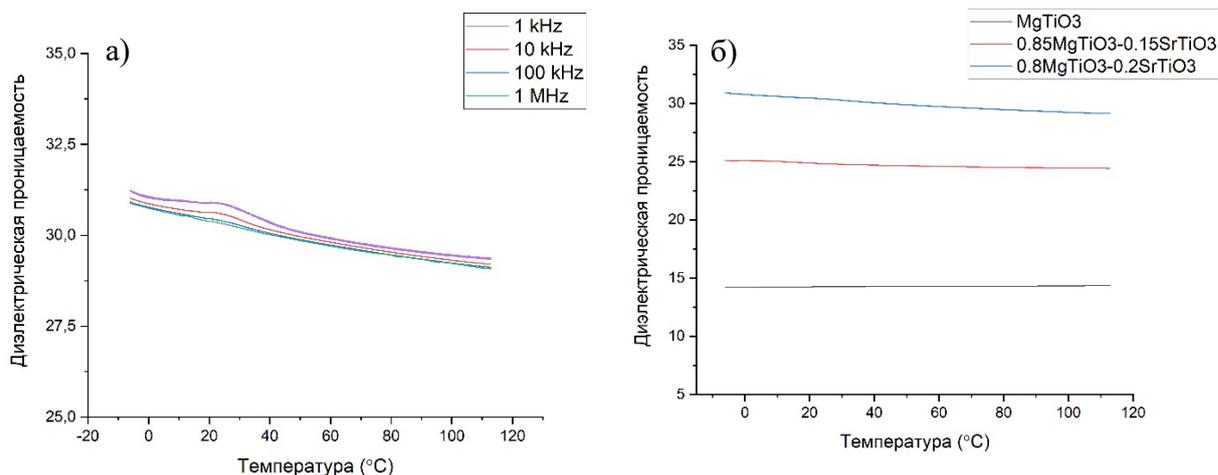
Из выражения (1) следует, что для размера МПА диапазона  $L1$  с размером стороны порядка 20 мм следует выбирать материал со значением  $\varepsilon_r = 30$ . Для реализации КПД МПА не менее 80% толщину подложки, согласно графику на рисунке 1, следует выбирать не менее 2,5 мм. Подложку с данными параметрами можно реализовать на основе титаната магния-стронция.

В рамках данной работы были изготовлены опытные керамические образцы  $(1-x)\text{MgTiO}_3-x\text{SrTiO}_3$ . ( $x=0, 0.15, 0.2, 1$ ) Исследованная керамика была изготовлена по технологии твердофазного высокотемпературного синтеза. Исходная шихта (титанат стронция и титанат магния) измельчались и смешивались в шаровой планетарной мельнице методом мокрого помола с использованием изопропилового спирта. Помол происходил со скоростью 500 об/мин в течение 1 часа. Измельченный порошок подвергался предварительному обжигу при температуре 1200 °С, после чего был повторно измельчен. Далее осуществлялось прессование образцов и финальный синтез при температуре 1400 °С. После механической подготовки образцы представляли собой диски диаметром 15 мм, толщиной 1 мм. На рисунке 2 приведены зависимости  $\varepsilon_r$  и  $\text{tg}\delta$  титаната магния-стронция от процентного содержания стронция, полученные экспериментально.



**Рисунок 2.** Зависимость диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в образцах  $(1-x)\text{MgTiO}_3-x\text{SrTiO}_3$  от содержания титаната стронция при комнатной температуре

На рисунке 3(а) представлена температурная зависимость диэлектрической проницаемости образца  $0.8\text{MgTiO}_3-0.2\text{SrTiO}_3$  для разных частот. Рисунок 3(б) демонстрирует температурную зависимость диэлектрической проницаемости для образцов разного состава. Разброс значений диэлектрической проницаемости для каждого образца не превышает 2% в диапазоне температур от  $-10^\circ\text{C}$  до  $120^\circ\text{C}$ .



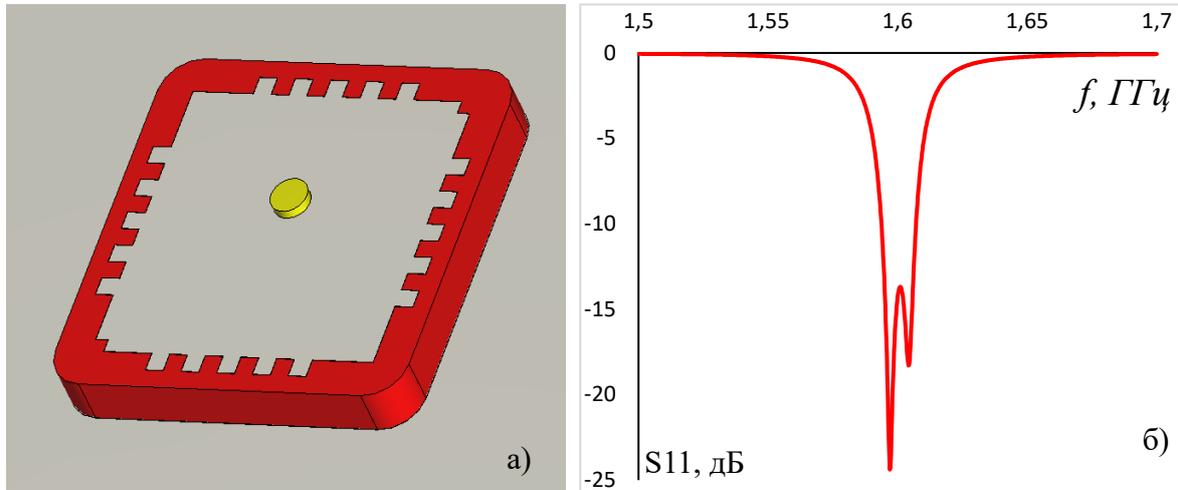
**Рисунок 3.** Температурная зависимость диэлектрической проницаемости (а) для образца  $0.8\text{MgTiO}_3-0.2\text{SrTiO}_3$  на разных частотах; (б) для образцов разного состава на частоте  $100\text{kHz}$

Из представленных результатов следует, что состав керамики  $0.8\text{MgTiO}_3-0.2\text{SrTiO}_3$  является оптимальным из исследованных составов для поставленной задачи.

### 3. Разработка антенны

Характеристики полученного диэлектрика были использованы при электродинамическом моделировании антенны методом конечных элементов. На

рисунке 4а приведена модель антенны, результирующие размеры с учетом подложки 19,8 x 19,8 x 2,5 мм. На рисунке 4б приведена частотная зависимость коэффициента отражения разработанной антенны.



**Рисунок 4.** Внешний вид антенны (а) и частотная зависимость коэффициента отражения (б)

Значение коэффициента эллиптичности на центральной частоте диапазона  $L1$  составило 2,15 дБ, ширина диаграммы направленности не менее 96 градусов,  $BW = 18$  МГц.

#### 4. Заключение

Титанат магния-стронция является перспективным диэлектрическим материалом для производства малогабаритных антенн. Освоение технологии синтеза этого материала со стабильными параметрами  $\epsilon_r$  и  $tg\delta$  в диапазоне частот  $L$  является важным шагом на пути к серийному производству отечественных антенн ГЛОНАСС.

#### Список литературы

1. Бордачев, В. А. Исследование устройства и ТТХ космического аппарата «ГЛОНАСС-М» / В. А. Бордачев // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, Севастополь, 15–18 апреля 2024 года. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. – С. 60-65.
2. Эффективность применения сверхкомпактной антенной системы в компенсаторе помех / А. В. Немов, Д. А. Немов, Д. Л. Минь [и др.] // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2018. – № 2. – С. 37-46.
3. Антонов, А. С. Двухрезонансная антенна L-диапазона круговой поляризации / А. С. Антонов, Е. Л. Капылов // Антенны и распространение радиоволн : Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 23–25 октября 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2024. – С. 33-36.
4. Толкачева А. С., Павлова И. А. Технология керамики для материалов электронной промышленности: учебное пособие: в двух частях: Часть 1. – 2019.
5. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. М.: «Радио и связь», 2000, 536 с.
6. Илларионов, И. А. Трехдиапазонная микрополосковая антенна круговой поляризации для бортовой и наземной аппаратуры спутниковой навигации / И. А. Илларионов, Е. Л. Варенцов, М. И. Дудкин // Антенны. – 2020. – № 2(264). – С. 19-29.