

05.4;09;12

Полосно-пропускающие микророскосвые фильтры на пленках высокотемпературного сверхпроводника

© И.Б. Вендик, В.В. Кондратьев, А.А. Свищев,
С. Леппявуори, Э. Якку

С.-Петербургский государственный электротехнический университет

Поступило в Редакцию 7 июля 1998 г.

Представлены результаты моделирования и экспериментального исследования полосно-пропускающих фильтров на связанных микророскосвых резонаторах, выполненных на пленках высокотемпературного сверхпроводника. Показано, что использование достоверных моделей ВТСП элементов фильтров и тщательное проектирование позволяют решить задачу синтеза ВТСП фильтров в виде интегральной схемы без использования дополнительных подстроечных элементов. Исследовались две конфигурации фильтров на частоту 1.75 GHz с полосой пропускания 4%. Существенным результатом является весьма удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных характеристик фильтров для обеих конфигураций.

Пленки высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) на диэлектрической подложке могут быть успешно применены для реализации планарных СВЧ фильтров с рекордно низкими потерями в полосе пропускания. Это обусловлено чрезвычайно низким значением поверхностного сопротивления пленок ВТСП уже при температуре жидкого азота ($T = 77\text{ K}$). Поскольку планарные полосно-пропускающие фильтры выполняются на основе связанных полуволновых или четвертьволновых резонаторов, методика синтеза фильтров строится на базе модели многосвязных линий. В данной работе представлены результаты моделирования и экспериментального исследования полосно-пропускающих фильтров на связанных микророскосвых резонаторах, выполненных на пленках YBCO на подложке LaAlO_3 с диэлектрической проницаемостью 23.7 (пленки PRIMA TEC, $R_{sur} = 0.6\text{ m}\Omega$ при температуре $T = 77\text{ K}$, $f = 10\text{ GHz}$, толщина пленок 400–500 nm).

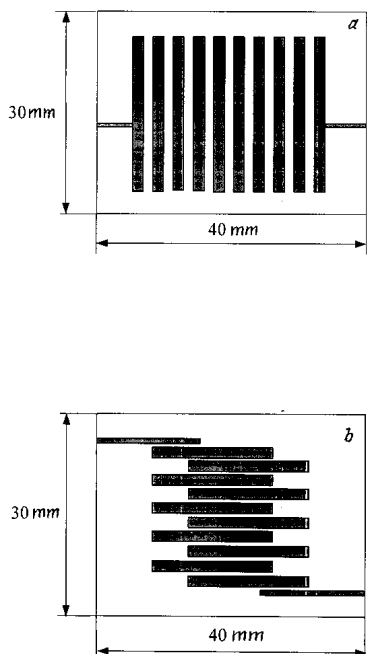


Рис. 1. Топологии исследуемых фильтров.

Существует устойчивое мнение, что узкополосные ВТСП фильтры с высокой крутизной склонов нельзя выполнить без дополнительной подстройки. В данной работе мы показываем, что использование достоверных моделей ВТСП элементов фильтров и тщательное проектирование позволяют решить задачу синтеза ВТСП фильтров в виде интегральной схемы без использования дополнительных подстроечных элементов. Эта задача представляется важной с точки зрения массового использования таких фильтров в системах мобильной связи.

Исследовались две конфигурации фильтров на частоту 1.75 GHz с полосой пропускания 4%. Фильтр № 1 10-го порядка был выполнен в виде решетки связанных полуволновых микрополосковых резонаторов с использованием *T*-образной структуры элементов возбуждения (рис. 1, *a*) на подложке LaAlO_3 толщиной 0.45 mm и диаметром 2 дюйма.

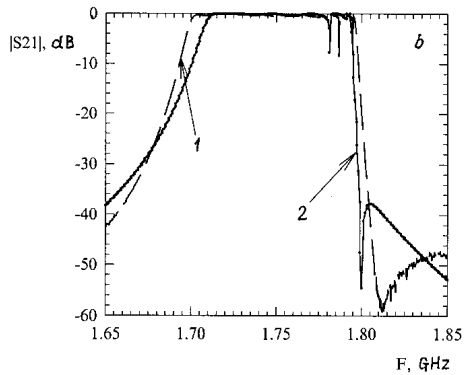
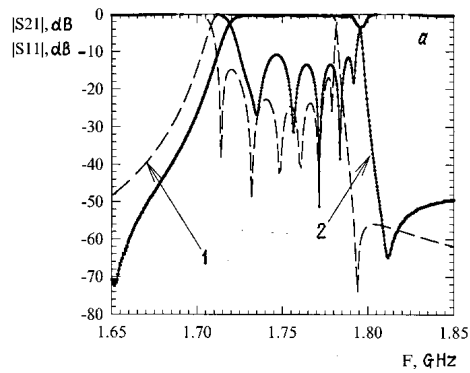


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные характеристики фильтра № 1 (*a*), фильтра № 2 (*b*). 1 — расчет, 2 — эксперимент.

Полуволновые резонаторы шириной 1.1 mm располагаются на разных расстояниях друг от друга, которые выбираются в процессе синтеза так, чтобы обеспечить те же самые коэффициенты связи, что и у фильтра прототипа на сосредоточенных $L-C$ элементах [1].

Фильтр № 2 10-го порядка был выполнен также в виде решетки связанных полуволновых резонаторов (рис. 1, *b*) на такой же подложке с использованием связанных линий в качестве элементов возбуждения.

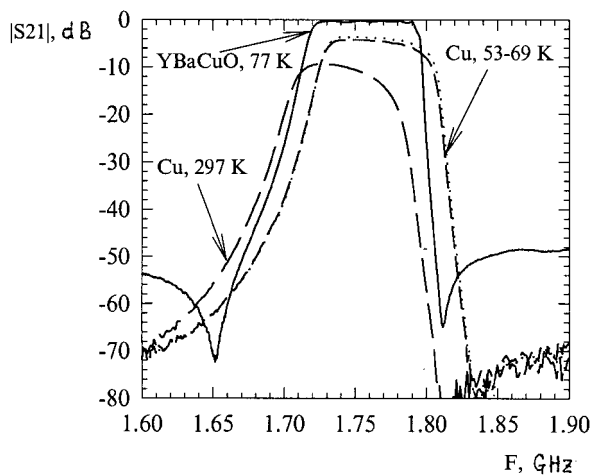


Рис. 3. Экспериментальные характеристики фильтра № 1, выполненного на меди и пленке сверхпроводника YBaCuO.

Ширина микрополосковых линий резонаторов такая же, как и в фильтре № 1. С целью подавления связей между несоседними резонаторами, приводящих к затягиванию низкочастотного склона амплитудно-частотной характеристики, было изменено взаимное расположение полуволновых резонаторов.

Расчет характеристик фильтров выполнялся с использованием различных коммерческих программ (Sonnet, Jomega, MH), а также на базе оригинальной модели многосвязных линий, позволяющей учитывать вклад поверхностного импеданса пленки YBCO и его частотную и температурную зависимости. Использовалась эмпирическая модель поверхностного импеданса ВТСП пленок [2].

Экспериментальное исследование фильтров выполнялось при температуре жидкого азота $T = 77\text{ K}$ на установке HP Network Analyzer. Экспериментальные характеристики фильтров приведены на рис. 2. Здесь же показаны расчетные характеристики. Вносимые потери в полосе пропускания не превышают 0.5 dB , коэффициент отражения не хуже 12 dB , минимальный уровень изоляции в полосе запираания 50 dB . На рис. 3 для сравнения приведены экспериментальные характеристики фильтра № 1, выполненного на пленке YBCO, и его медный аналог.

Существенным результатом является весьма удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных характеристик фильтров для обеих конфигураций, а также увеличение крутизны низкочастотного склона для фильтра № 2 с частичным подавлением паразитных связей несоседних резонаторов. Рис. 3 демонстрирует существенно лучшее качество фильтров на ВТСП по сравнению с медным аналогом.

Работа выполнена по проекту № 98063 Государственной научно-технической программы "Актуальные проблемы в физике конденсированных сред" по направлению "Сверхпроводимость" при финансовой поддержке фонда Nokia.

Список литературы

- [1] *Zhang D., Liang G.-C., Shin C.F.* et al. // IEEE MTT. 1995. V. 43. N 12. P. 3020–3028.
- [2] *Matthaei G.L., Hey-Shipton G.L.* // Int. IEEE Microwave Symp. Dig. Atlanta, GA, June 1993. P. 1269–1272.
- [3] *Vendik O.G., Vendik I.B., Kaparkov D.I.* // IEEE Trans. on MTT. 1998. V. 46. N 5. P. 469–478.