

УДК 537.312.62

ПАН В. М., ТАРАСОВ В. Ф., СКОРИК Н. А., ФУТЫМСКИЙ С. И.

ПОЛОСОВОЙ СВЧ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК

Показаны преимущества использования пленок из высокотемпературных сверхпроводников при создании устройств СВЧ. Дана оценка добротности несимметричного полоскового резонатора на базе пленки на частоте 2 ГГц при 77 К (температуре жидкого азота). Приведены частотные характеристики девятирезонаторного полоскового фильтра, разработанного с применением пленок. Отмечена перспективность применения высокотемпературных сверхпроводящих пленок для нового поколения устройств СВЧ.

Полосовой фильтр СВЧ, выполняющий функции селекции сигнала, должен иметь минимальные потери в полосе пропускания и высокую избирательность вне полосы. Большой частью основу таких фильтров составляют полос-

ковые медные резонаторы на подложке из поликора, которые, например, в диапазоне частот до 2 ГГц обеспечивают добротность при комнатной температуре (273 К) порядка 160...300 (в зависимости от его топологии). Для современных условий эксплуатации таких устройств СВЧ это не всегда достаточно. Например, в связи с увеличением числа пользователей мобильными телефонами в больших городах существует серьезная проблема взаимного влияния соседних каналов на качество связи вследствие недостаточного подавления мощного сигнала вне полосы приема и больших промышленных помех, для чего необходимо повышать мощность излучения самого телефона. Однако, как показано в ряде медицинских исследований, это является опасным для здоровья пользователя. В этом случае наличие на базовой станции приемного устройства с фильтром, имеющим малые потери мощности сигнала в полосе приема с высокой крутизной скатов, позволило бы кардинально решить указанные выше проблемы. Но для этого нужны избирательные системы с высокой добротностью, и единственный путь получения таких систем — это уменьшение потерь в полосковом резонаторе путем его охлаждения, что приводит к росту добротности резонатора за счет уменьшения удельного электрического сопротивления проводника. Но и это не дает большого выигрыша в диапазоне СВЧ, несмотря на то, что удельное электрическое сопротивление ρ (например, меди) по постоянному току сильно падает с температурой ($\rho \sim T^5$).

Как показывают расчеты, в этом случае поверхностное сопротивление R_s должно падать пропорционально $\sqrt{\rho}$. Однако, эксперимент не подтверждает это. Например, медный полуволновой полосковый резонатор на подложке из поликора толщиной 0,5 мм с волновым сопротивлением $Z_{\text{в}} = 50$ Ом на частоте 2 ГГц с толщиной меди 5 мкм имеет добротность $Q \cong 200$ при комнатной температуре, а при 77 К (температура жидкого азота) $Q \cong 600$, хотя в этом случае ρ существенно падает. Теоретические исследования данного явления показали, что причиной этого служит аномальный скин-эффект в металлах при низких температурах [1], в связи с которым при понижении температуры поверхностное сопротивление сначала несколько падает, а затем практически остается постоянным, несмотря на значительное понижение температуры (вплоть до 4,2 К). В этом случае целесообразно применение в устройствах СВЧ сверхпроводящих материалов, которые могут дать значительный выигрыш в добротности резонаторов. Открытые в 1986 г. высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) имеют температуру перехода в сверхпроводящее состояние 91 К. Это позволяет их эксплуатировать при жидком азоте (77 К), что намного экономичнее, чем использование классических сверхпроводников, работающих при температуре жидкого гелия (4,2 К).