

05.4;09;11;12

## МИКРОПОЛОСКОВЫЕ СВЧ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ КАНАЛОВ И ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

© М.М.Гайдуков, А.Б.Козырев, В.Н.Осадчий

Ранее [1] был рассмотрен микрополосковый СВЧ выключатель на основе пленок высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), переключаемых из сверхпроводящего ( $S$ ) в нормальнопроводящее ( $N$ ) состояние под действием управляющего импульсного тока. Такие выключатели могут служить основой для построения ряда устройств СВЧ электроники, и в частности переключателей каналов и фазовращателей на переключаемых линиях.

В настоящем сообщении описаны микрополосковые интегральные схемы СВЧ двухканального переключателя и СВЧ фазовращателя ( $\Phi В$ ) на переключаемых линиях с использованием навесных  $S-N$  ключевых элементов на основе ВТСП пленок  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  на сапфире. Технология получения пленок и их основные параметры описаны в [2]. В работе использовались  $S-N$  ключевые элементы в виде одностороннего меандра шириной 30 мкм и общей длиной 1.5 мм.

Топология СВЧ двухканального переключателя приведена на рис. 1  $S-N$  ключи включались между выходными линиями  $Y$ -тройникового соединения и шлейфами с холостым ходом на концах. Подача импульсов управления  $S-N$  ключами осуществлялась через цепи, обеспечивающие развязку по СВЧ сигналу не менее 40 дБ в рабочей полосе частот ( $f = 3$  ГГц,  $\Delta f/f = 8\%$ ). Интегральная схема переключателя выполнена на подложке из поликора толщиной 0.5 мм и размером 24 × 30 мм. Металлизация схемы и заземленного основания выполнена из напыленной меди толщиной 4 мкм. Потери в передающей линии каждого из каналов в отсутствие  $S-N$  ключей не превышали 0.2 дБ. В  $S$ -состоянии ключа ( $R_k < 0.1$  Ом) в плоскости его расположения линия передачи закорачивается, обеспечивая практически полное отражение СВЧ сигнала. В  $N$ -состоянии ( $R_k > 800$  Ом) обеспечивается развязка шлейфа от линии передачи и СВЧ сигнал проходит без отражения.

Для управления переключателем использовалась схема на основе двух транзисторных ключей инвертора (аналогичная описанной в [1]), позволявшая осуществлять открытие любого из каналов на требуемое время без заметной

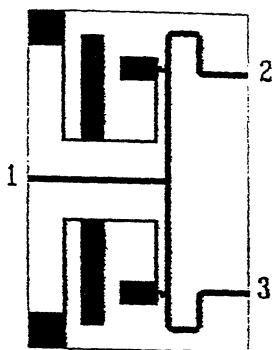


Рис. 1. Топология двухканального СВЧ переключателя.

деградации параметров  $S-N$  ключей. Частотные зависимости ослабления СВЧ сигнала в сравнении с расчетными приведены на рис. 2 (канал 1-2 — открыт, 1-3 — закрыт). Характеристики схемы при переключении каналов полностью аналогичны в пределах погрешности измерений 0.2 дБ. Видно, что полоса пропускания по уровню 0.5 дБ для открытого канала и полоса запираания по уровню 25 дБ для закрытого канала порядка 7%. Развязка между каналами в рабочей полосе частот превышала 30 дБ (зависимость  $S_{23}$  на рис. 1 не приведена). Потери в обоих каналах определяются в основном отражением СВЧ сигнала, вклад диссипативных потерь мал.

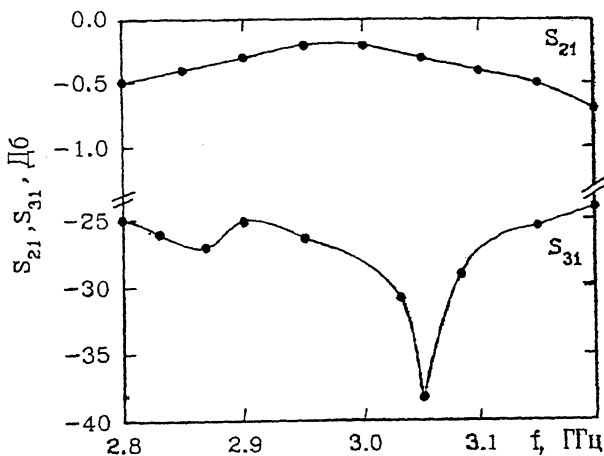


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики СВЧ переключателя.

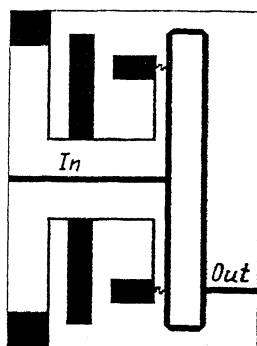


Рис. 3. Топология СВЧ фазовращателя.

Рассмотренный выше переключатель каналов послужил основой для реализации СВЧ ФВ, топология которого приведена на рис. 3. Отличие ФВ от переключателя в объединении выходов 2 и 3 в кольцо с длинами плеч  $\lambda/4$  и  $3/4\lambda$ , что обеспечивает фазовый сдвиг  $180^\circ$  между СВЧ сигналами каждого плеча при переключении  $S-N$  ключевых элементов. Для "традиционного" гибридного кольца типично значение волнового сопротивления линии передачи  $\sim 7 \text{ Ом}$ . Уменьшение волнового сопротивления линии пере-

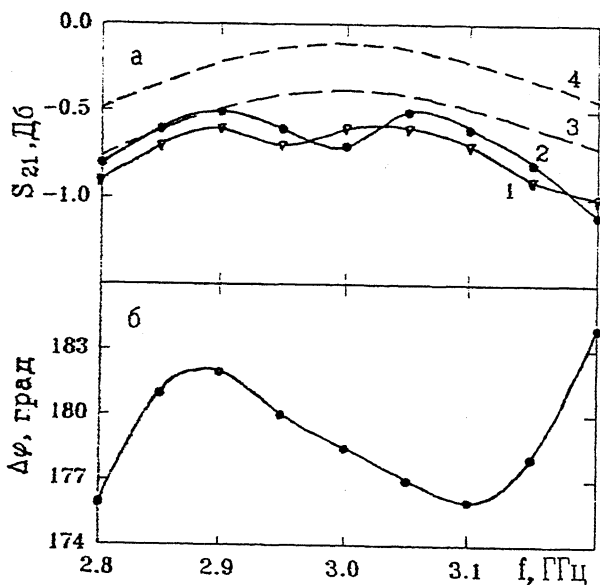


Рис. 4. Амплитудно-частотные (а) и фазочастотные (б) характеристики СВЧ фазовращателя.

дачи кольца сужает рабочую полосу частот, однако уменьшает потери в полосе пропускания, поэтому было использовано кольцо на основе 50-омной линии. Характеристики ФВ получены с использованием той же схемы управления, что и для исследования переключателя. Экспериментальная и расчетная частотные зависимости затухания для двух состояний ФВ и фазового сдвига при  $S-N$  переключении приведены на рис. 4 (кривые 1, 2 — эксперимент, 3, 4 — расчет). Из рис. 4 видно, что в полосе частот порядка 7% один из основных параметров ФР (отношение фазового сдвига к потерям в полосе пропускания) порядка 260 град/дБ и может быть улучшен за счет снижения диссипативных потерь при выполнении всех микрополосковых структур из ВТСП пленок, что подтверждается расчетными зависимостями затухания для медной (кривая 3) и ВТСП (кривая 4) металлизации. Временные характеристики переключения рассмотренных устройств аналогичны временным характеристикам выключателя [1]. Время переключения не превышает 20 нс и определяется не предельной скоростью токового  $S-N$  переключения ( $-0.1$  нс) [3], а особенностями импульсной схемы управления.

Результаты работы демонстрируют возможность реализации на основе ВТСП пленок  $S-N$  переключаемых СВЧ устройств с токовым управлением. Описанные выше схемы можно рассматривать как макеты для проектирования монолитных схем на основе ВТСП пленок. Кроме того, полученные характеристики показывают, что при использовании навесных элементов можно разрабатывать схемы для нижней части СВЧ диапазона (1 ГГц и ниже).

Авторы благодарны профессору О.Г. Вендику за постоянное внимание к работе и обсуждение полученных результатов и В.Ф. Врацких за любезно предоставленные образцы ВТСП пленок.

Работа выполнена в рамках Государственной программы "Высокотемпературная сверхпроводимость" (проекты № 93219 и 93220).

#### Список литературы

- [1] Гайдуков М.М., Козырев А.Б., Осадчий В.Н., Врацких В.Ф. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 13. С. 79–82.
- [2] Варламов Ю.Д., Врацких В.Ф., Предтеченский М.Р. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 22. С. 2068–2070.
- [3] Козырев А.Б., Самойлова Т.В., Шаферова С.Ю. // СФХТ. 1993. Т. 6. № 4. С. 823–837.

С.-Петербургский  
государственный  
электротехнический  
университет

Поступило в Редакцию  
29 сентября 1995 г.