

05.4;09

©1994

МИКРОПОЛОСКОВЫЙ СВЧ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ВТСП ПЛЕНКИ

*М.М.Гайдук, А.Б.Козырев, В.Н.Осадчий,
В.Ф.Врацки*

Коммутационные устройства на основе ВТСП пленок, принцип действия которых основан на $S - N$ переключении [1-3] для охлаждаемых до азотной температуры входных цепей приемников являются конкурентноспособными с полупроводниковыми в СВЧ диапазоне. На основе таких выключателей могут быть синтезированы переключатели каналов и фазовращатели с низким уровнем потерь полезного сигнала и высоким быстродействием.

В настоящем сообщении описана микрополосковая интегральная схема СВЧ выключателя с использованием навесных ВТСП ключевых элементов на основе ВТСП пленок на сапфире. Использование навесных элементов диктуется сложностью получения ВТСП пленок большой площади и может быть рассмотрено как макет, позволяющий исследовать основные электрические характеристики выключателя.

В работе были использованы пленки YBCO на подложке из монокристаллического лейкосапфира без согласующих подслоев. Пленки толщиной 0.2 мкм были получены по технологии лазерного напыления в атмосфере кислорода [4]. Для напыления использовался импульсный лазер (длина волны 1.06 мкм, длительность импульса 10 нс, энергия в импульсе 0.2 Дж, частота следования импульсов 10 Гц). Подложка прогревалась до температуры (700 - 850)°С. ВТСП пленки имели $T_c = 88$ К и величину поверхностного сопротивления при $T = 78$ К на частоте 65 ГГц $R_s = (2 - 5) \cdot 10^{-2}$ Ом. Ключевой ВТСП элемент был выполнен в виде однозвенного меандра шириной 30 мкм и общей длиной 1.5 мм (рис. 1, а). Индуктивность меандра составляла $L = 1.5$ нГн, сопротивление $R_{300} = (0.9 - 1.2)$ кОм и $R_{300}/R_{100} = 3$. Используя значение поверхностного сопротивления на частоте 65 ГГц и учитывая квадратичный характер частотной зависимости R_s , легко получить, что для данной топологии ключа на частоте 3 ГГц наиболее важное для реализации ключа отношение R_{100}/R_{78} , то есть параметр качества ключа [5,6], составляет $(3 - 6) \cdot 10^4$. Величина

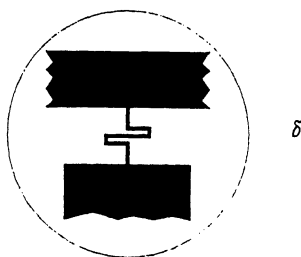
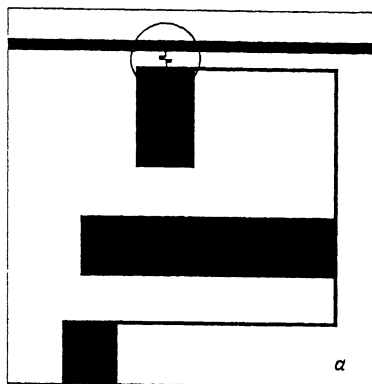


Рис. 1. Топология микрополоскового СВЧ выключателя (а) $S - N$ ключа (б) на основе ВТСП пленки.

критической плотности тока, определяющая уровень мощности переключения, порядка 10^6 A/cm^2 (критический ток — 100 мА).

Конструктивно элемент микрополоскового выключателя представляет собой индуктивный $S - N$ ключ, включенный между линией передачи и шлейфом с холостым ходом на конце (рис. 1, б). Подача сигнала управления осуществлялась через четвертьволновые цепи, обеспечивающие развязку по цепи управления не менее 40 дБ в рабочей полосе частот. Интегральная схема выключателя выполнена на подложке из поликора толщиной 1 мм и размером 15×24 мм. Металлизация схемы и заземленного основания выполнена из меди толщиной 4 мкм, нанесенной методом магнетронного распыления, и формировалась методом фотолитографии. Потери в передающей линии длиной 24 мм не превышали 0.1 дБ.

Для управления выключателем использована схема на основе транзисторного ключа, обеспечивающая коммутацию тока до 1 А в импульсном режиме и до 0.5 А в стационарном режиме. Выходное сопротивление схемы не пре-

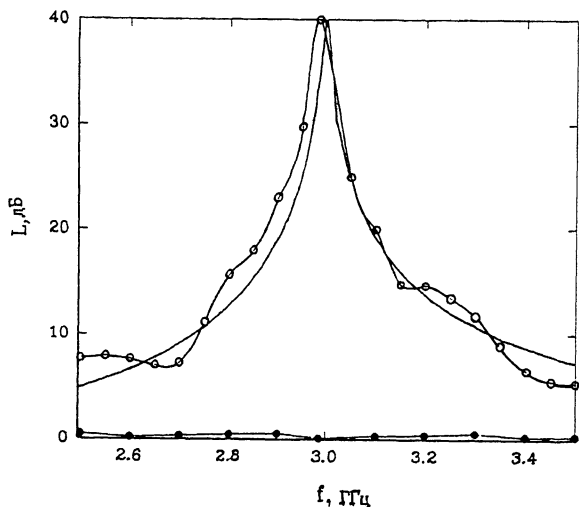


Рис. 2. Частотные зависимости ослабления СВЧ сигнала для S (режим запираия) и N (режим прохождения сигнала) состояний ключа.

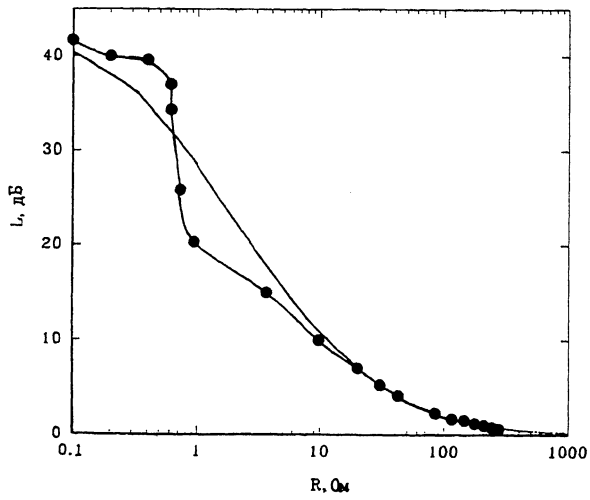


Рис. 3. Зависимость ослабления СВЧ сигнала от величины сопротивления ключа на частоте 3 ГГц.

вышает 0.5 Ом. Для ограничения тока в момент коммутации использован последовательный резистор с номиналом, обеспечивающим требуемую начальную надкритичность. Включение $S - N$ ключа в цепь управления обеспечивало ограничение и стабилизацию тока в стационарном режиме на уровне тока удержания ключа в N состоянии. Эксперименты показали отсутствие заметной дегра-

дации параметров $S - N$ ключа в режиме протекания тока удержания, что, по-видимому, объясняется высокой теплопроводностью сапфира и малым тепловым сопротивлением границы пленка-подложка. Входные уровни управления соответствуют уровням ТТЛ микросхем.

Частотные зависимости ослабления СВЧ сигнала в сравнении с расчетными приведены на рис. 2 для S (режим запираия) и N (режим прохождения сигнала) состояний ключа. Видно, что полоса запираия по уровню ослабления 20 дБ порядка 7%. В то же время в режиме прохождения сигнала потери не превышают 0.3 дБ во всем исследованном диапазоне частот (2-4 ГГц). Потери в обоих режимах определяются в основном отражением СВЧ сигнала, вклад диссипативных потерь мал.

Зависимость ослабления СВЧ сигнала от величины сопротивления ключа приведена на рис. 3 для частоты 3 ГГц. Сопротивление ключа R в режиме удержания определялось измерением постоянного тока удержания при заданном напряжении источника управления. Мощность управления в режиме удержания N состояния определяется размерами ключа и теплофизическими свойствами ВТСП пленки и подложки и составляет 1.4 Вт. Для снижения мощности управления необходима реализация ключа значительно меньшей ширины. Быстродействие выключателя определяется временем разрушения и восстановления сверхпроводящего состояния ключа. Время разрушения сверхпроводящего состояния определяется режимом управления и величиной надкритичности по току и может быть получено меньше 10^{-9} [7,8]. Время восстановления сверхпроводящего состояния определяется температурной релаксацией системы пленка-подложка и может достигать величины порядка 10^{-7} с [8].

Авторы благодарны О.Г. Вендику за постоянное внимание к работе и обсуждение полученных результатов.

Работа включена в Государственную программу "Высокотемпературная сверхпроводимость" (проект № 93219).

Список литературы

- [1] Вендик О.Г., Гайдуков М.М., Карпюк А. и др. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. № 13. С. 79-82.
- [2] Vendik O.G., Gaidukov M.M., Kozyrev A.B., Kolesov S.G. // Proc. of 18-th European Microwave Conference. 1988. P. 27-37. Microwave Exh. and Publish., Tunbridge Wells.
- [3] Galchenko S.A., Kaparkov D.I., Kuznetsov V.V. et al. // Proc. of the 23rd European Microwave Conference. 1993. V. 1. P. 846-847. Reed Exh. and Publish., Tunbridge Wells.
- [4] Варламов Ю.Д., Врацких В.Ф., Предтеченский М.Р. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 22. С. 2068-2070.

- [5] *Vendik O.G., Gaidukov M.M., Kolesov S.G. et al.* // Proc. of 21-nd European Microwave Conference. 1991. P. 72-79. Microwave Exh. and Publish., Tunbridge Wells.
- [6] *Козырев А.Б., Самойлова Т.Б., Шаферова С.Ю.* // СФХТ. 1993. Т. 6. № 4. С. 823-837.
- [7] *Chaloupka H., Jeck M., Kolesov S., Vendik O.* // Proc. of the 22nd European Microwave Conference. 1992. V. 1. P. 189-194. Microwave Exh. and Publish., Tunbridge Wells.

С.-Петербургский государственный
электротехнический университет

Поступило в Редакцию
11 июля 1994 г.

