

а на рис. 2 зависимости μ и k от $\frac{k_0}{a}$ при вытягивании цилиндрического кристалла способом Чохральского ($\rho = 0$). Устойчивому росту соответствуют значения μ , лежащие выше нейтральных кривых.

Для полупроводниковых кристаллов, как правило, $\mu < 1$. Поэтому возникновение периодических колебаний рассматриваемого типа может иметь место достаточно часто. При этом размерная длина волны нейтрального возмущения оказывается пропорциональной δ .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Татарченко В.А. Устойчивый рост кристаллов. М.: Наука, 1988. 238 с.
- [2] Bell R.O. Proc. 2 nd Int. Symp. on Shaped Crystal Growth, Budapest, 1989. P. 9.

Поступило в Редакцию
19 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 13 12 июля 1990 г.

05.4; 06; 09

© 1990 г.

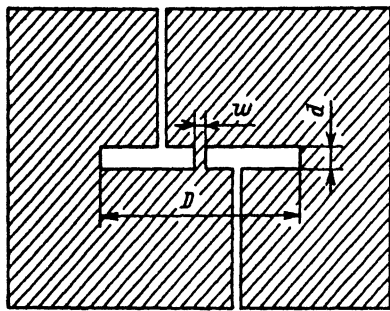
ВОЛНОВОДНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВОЙ ПЛЕНКИ

О.Г. Вендик, М.М. Гайдук,
А. Карпюк, А.Б. Козырев,
С.Г. Колесов, С.Б. Розанов

Коммутационные устройства на основе сверхпроводников, принцип действия которых основан на $S-N$ -переключении [1], для охлаждаемых до гелиевой температуры входных цепей модуляционных радиометров [2] являются конкурентноспособными с полупроводниковыми и ферритовыми устройствами во всем СВЧ диапазоне [1, 3]. В диапазоне миллиметровых длин волн и особенно на частотах выше 100 ГГц реализация коммутационных устройств на традиционной элементной базе связана с определенными трудностями.

В настоящем сообщении приведены результаты исследований электрофизических параметров пленок нитрида ниобия, описана конструкция волноводного выключателя на их основе и приведены результаты экспериментальных исследований рабочих характеристик этих выключателей.

Рис. 1. Топология элемента волноводного выключателя.



Основной проблемой реализации СВЧ выключателей и ограничителей на основе сверхпроводниковых пленок является необходимость обеспечения высоких значений отношения СВЧ поверхностных сопротивлений в нормальном проводящем (R_N) и сверх-

проводящем (R_S) состояниях. Исследования свойств пленок различных сверхпроводников в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн показали, что максимальное отношение R_N/R_S имеют гранулированные пленки NbN [4].

В данной работе использовались пленки нитрида ниобия, полученные методом магнетронного распыления ниобиевой мишени в атмосфере Ar и N_2 на нагреваемых до температуры $(200-300)^\circ C$ подложки из слюды [5]. Исследование зависимостей поверхностного сопротивления этих пленок от толщины в S и N состояниях на частоте 60 ГГц показали, что максимальным отношением $R_N/R_S = 10^3-5 \cdot 10^3$ характеризуются пленки толщиной $t = (100-200)$ нм. Опираясь на результаты [6] можно сказать, что эти толщины удовлетворяют неравенству $\lambda_L \lesssim t \ll \delta$, где λ_L - лондоновская глубина проникновения, δ - глубина скин-слоя в нормальном состоянии. Эти пленки имели $T_c = (13-15)$ К, $\rho_{300} = (1-5) \cdot 10^{-5}$ Ом·м, $\rho_{300} / \rho_{20} = 0.65-0.8$, $R_S (T = 4.2 \text{ К}) \approx 10^{-2}$ Ом.

Конструктивно элемент волноводного выключателя (рис. 1) представляет собой тонкую поперечную диафрагму с двумя щелевыми резонаторами, связанными узкой индуктивной перемычкой, являющейся ключом, $S-N$ - переключение которого приводит к изменению добротности и резонансной частоты резонаторов и к изменению шунтирующей проводимости в плоскости диафрагмы. Перевод ключа из S в N -состояние осуществляется прямоугольными импульсами тока, превышающего критическое значение. Для развязки цепи управления используются узкие (5 мкм) щели, расположенные в бестоковых местах резонаторов. Необходимая топология диафрагмы формировалась методом фотолитографии по пленке сверхпроводника, нанесенной на тонкую ((10-25) мкм) диэлектрическую подложку. Готовая диафрагма помещалась между фланцевыми соединениями измерительного волноводного тракта.

Исследуемые выключатели состояли из двух элементов, разделенных четвертьволновой секцией волновода основного сечения. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) такой структуры в режиме „открыто“ обладает свойственной таким фильтрам максимально плоской характеристикой.

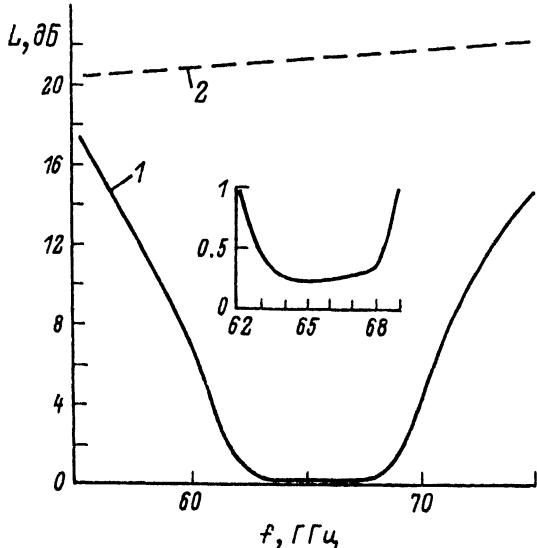


Рис. 2. АЧХ волнового выключателя в режимах „открыто“ (1) и „закрыто“ (2). Параметры элемента: $D = 3.0$ мм, $d = 150$ мкм, $W = 20$ мкм. На врезке: АЧХ в полосе пропускания.

Частотные зависимости ослабления СВЧ сигнала $L(f)$ и коэффициента стоячей волны КСВ (f) на частотах 52–78 ГГц исследовались с помощью панорамного измерителя Р2–69, а на частотах 110–170 ГГц с помощью перестраиваемой ЛОВ и измерительной линии. При этом погрешность измерений на частотах 110–170 ГГц не превышала ± 0.5 дБ. СВЧ сигнал подводился к исследуемому выключателю, помещенному в криостат с жидким гелием, по сверхразмерным волноводам.

На среднюю частоту 65 ГГц были реализованы выключатели с относительной полосой пропускания в режиме „открыто“ от 5 % до 10 % по уровню $L = 0.5$ дБ. Неравномерность АЧХ в полосе пропускания ~ 0.1 дБ, КСВ = 1.2–1.3. В режиме „закрыто“ во всей исследуемой полосе частот $L = 18$ –23 дБ, КСВ = 15–20. На рис. 2 для примера приведены АЧХ в режимах „открыто“ (непрерывная линия) и „закрыто“ (пунктир) выключателя, состоящего из элементов, у которых $D = 3.0$ мм, $d = 150$ мкм, $W = 20$ мкм, толщина слюдяной подложки – 23 мкм. На врезке рис. 2 приведена АЧХ этого выключателя в полосе пропускания.

На средние частоты 142 и 155 ГГц были реализованы выключатели с относительной полосой пропускания в режиме „открыто“ от 3 до 6 % по уровню $L = 1$ дБ и с ослаблением $L = 20$ –25 дБ во всей полосе в режиме „закрыто“.

Мощность управления, необходимая для перевода ключей выключателя из S в N - состояние ($W = 10$ –20 мкм), для различных образцов составляла (0.5–20) мВт. Быстродействие выключ-

чателя определяется временами разрушения и восстановления сверхпроводящего состояния пленочного ключа. Время разрушения сверхпроводящего состояния определяется величиной надкритичности по току и может быть меньше 10^{-9} с [7]. Время восстановления сверхпроводящего состояния определяется температурной релаксацией системы пленка-подложка [8] и в нашем случае не превышает $5 \cdot 10^{-7}$ с.

При мощности СВЧ сигнала, превышающей некоторое пороговое значение (10–100 мВт), происходит $S - N$ -переключение ключей в отсутствии управляющего тока. Это означает, что описанные выключатели могут быть использованы в качестве быстродействующего защитного элемента входных цепей СВЧ-приемников от повышенного уровня мощности.

Авторы настоящего сообщения благодарны авторам работы [5] за напыление пленок NbN .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Вендик О.Г., Козырев А.Б. // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1983. Т. 26. № 10. С. 18–28.
- [2] Розанов Б.А., Розанов С.Б. Приемники миллиметровых волн. М.: Радио и связь, 1989. 168 с.
- [3] Вендик О.Г., Зайончковский А.Я., Колесов С.Г. и др. // ЖТФ. 1987. Т. 57. № 10. С. 1930–1935.
- [4] Бельски М., Вендик О.Г., Гайдуков М.М. и др. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 11. С. 3344–3349.
- [5] Бидзиньски Я., Гольман Е.К., Зайцев А.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 16. С. 73–76.
- [6] Shugо Kubо et al. // Appl. Phys. Lett. 1984. V. 44. N 2. P. 258–260.
- [7] Вендик О.Г., Гайдуков М.М., Козырев А.Б. и др. Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. № 2. С. 69–72.
- [8] Вендик О.Г., Зайончковский А.Я., Красиков С.Б. и др. // ФНТ. 1986. Т. 12. № 6. С. 576–583.

Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
12 октября 1989 г.
В окончательной редакции
20 февраля 1990 г.