

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК NbN , ПОЛУЧЕННЫХ НА СЛЮДЕ

Я. Бидзиньски, Е.К. Гольман, А.Г. Зайцев,
А.Б. Козырев, С.Н. Ушаков

Сверхпроводниковые пленки NbN по электрофизическим характеристикам в СВЧ диапазоне являются наиболее перспективными для маломощных входных цепей радиоприемных устройств [1]. Такие пленки могут быть получены на традиционных для микроэлектроники подложках (сапфир, поликор, кварц, кремний) методом ионно-плазменного распыления [1, 2]. Однако реализация широкополосных устройств управления и ограничения радиосигналов, работающих в субмиллиметровой части СВЧ диапазона, делает необходимым получение высококачественных сверхпроводящих покрытий NbN на тонких (порядка 10 мкм) диэлектрических подложках, практически прозрачных в указанном диапазоне частот [3]. К материалам, удовлетворяющим указанным требованиям, относятся тонкие полимерные пленки, а также слюда.

В настоящей работе пленки NbN были получены методом геттерного магнетронного распыления ниобиевой мишени на постоянном токе с использованием в качестве рабочего газа смеси аргона и азота высокой чистоты. Предельное предварительное разрежение достигалось в установке с помощью диффузионного паромасляного насоса. Распыление производилось в водоохлаждаемом квазизамкнутом объеме (КЗО), используемом как дополнительный геттерный насос [4]. Рабочая смесь с соотношением парциальных давлений $P_{Ar}/P_{N_2}=3.2$ подавалась непосредственно внутрь КЗО. Давление смеси контролировалось с помощью манометрического преобразователя ПМТ-2 внутри КЗО. В качестве подложек использовалась слюда марки СТА толщиной ~ 20 мкм. При токе разряда ~ 3 А скорость осаждения пленки составляла 1.5 ... 2.0 нм/с в зависимости от величины рабочего давления.

Температурная зависимость сопротивления полученных пленок исследовалась на постоянном токе четырехзондовым методом. На рис. 1 приведены результаты измерения критической температуры (T_C) пленок толщиной ~ 180 нм, полученных при различных температурах подложки и давлениях рабочего газа в процессе осаждения. На основании проведенных исследований (см. рис. 1) были определены оптимальные условия осаждения пленок NbN на слюде: при скорости осаждения ~ 2.0 нм/с, $P=6.0$ Па, температура подложки $T_{\text{п}}=380$ °С. Для пленок, получаемых в этом технологическом режиме, были проведены исследования зависимостей удельного электрического сопротивления ρ и T_C от толщины пленок d . Результаты исследования (рис. 2) показали наличие переходного слоя, приводящего к резкому изменению T_C и ρ при толщинах пленок

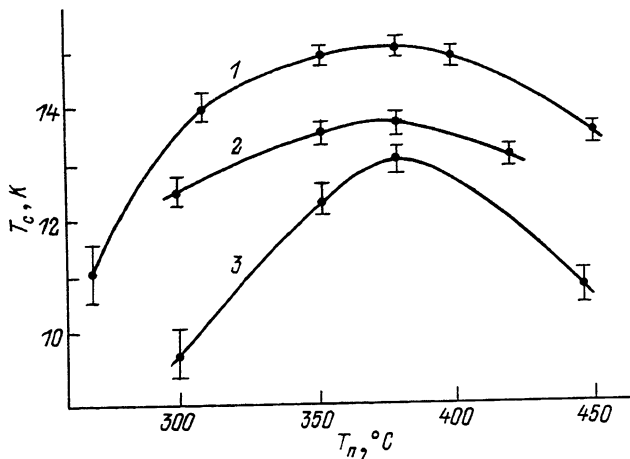


Рис. 1. Зависимость критической температуры пленок T_c от температуры подложки T_n в процессе осаждения при различных давлениях рабочего газа: 1 - $P=6.0$ Па, 2 - $P=6.4$ Па, 3 - $P=5.1$ Па. l - ширина сверхпроводящего перехода.

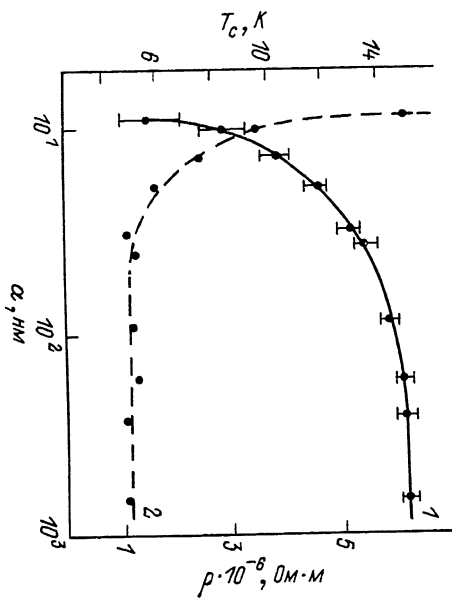


Рис. 2. Зависимость T_c и $\rho_{17\text{K}}$ пленок NbN от их толщины d . 1 - T_c , 2 - $\rho_{17\text{K}}$.

менее ~ 40 нм. Для пленок малой толщины отмечено также значительное изменение температурного коэффициента сопротивления

$$\gamma = \frac{\rho_{300K}}{\rho_{17K}}. \text{ Так, для пленок толщиной } d=9 \text{ нм, } \gamma=0.3 \text{ увеличение}$$

толщины пленок ведет к увеличению значения γ , и при толщине $d \gtrsim 30$ нм значение γ выходит на насыщение, $\gamma \approx 0.7$.

Переходный слой практически не влияет на характеристики пленок толщиной более 40 нм. Эти пленки имеют довольно высокую температуру сверхпроводящего перехода $T_c \approx 14 \dots 15$ К и $\rho_{17K} = 1.5 \cdot 10^{-6}$ Ом·м (см. рис. 2). Плотность критического тока при $T=4.2$ К составляет $J_c \approx 10^9$ А/м². Таким образом, сверхпроводящие свойства пленок NbN на слюде не уступают свойствам пленок NbN , полученным на других подложках, например на Si или на SiO_2 [1].

По данным структурного анализа, полученные пленки в зависимости от толщины могут быть аморфными, поликристаллическими или текстурированными. Следует отметить отсутствие у исследованных пленок гранулированной макроструктуры, характерной для пленок NbN [1]. Этот факт подтверждается также низким значением удельного сопротивления полученных пленок $\rho = 1.5 \cdot 10^{-6}$ Ом·м, что совпадает с величиной ρ_{17K} , рассчитанной для однородного негранулированного NbN [5].

Таким образом, можно констатировать, что метод реактивного магнетронного распыления позволяет осаждать на подложках из слюды высококачественные сверхпроводящие пленки NbN , удовлетворяющие требованиям для реализации на их основе устройств СВЧ электроники.

Представляет интерес тот факт, что предложенный режим горения разряда в магнетронной распылительной системе позволяет осаждать сверхпроводящие покрытия NbN не только на слюде, но также на фторопластовой и полиимидной пленках. В этом случае технологический процесс проводился без дополнительного подогрева подложек ($T_{\text{п}} \sim 90$ °С за счет влияния разряда). Критическая температура полученных пленок NbN составляла $T_c = 12.5$ К для фторопластовых подложек и $T_c = 15$ К для подложек из полиимида. Одним из возможных применений сверхпроводящих покрытий на полимерных пленках могут быть бездисперсионные линии задержки [6].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б е л ь с к и М., В е н д и к О.Г., Г а й д у к о в М.М., К о з ы р е в А.Б., К о л е с о в С.Г., С а м о й л о в а Т.Б., С у х о в В.А. // ФТТ. 1988. Т. 30. В. 11. С. 3344-3349.
- [2] Т h a k o o r S., L a m b J.L., Т h a k o o r A.P., К h a n n a S.K. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. N 12. P. 4643-4648.
- [3] В е н д и к О.Г., К о з ы р е в А.Б. // Изв. вузов, сер. Радиоэлектроника. 1983. Т. 26. № 10. С. 18-28.

- [4] Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. М.: Радио и связь, 1986. 232с.
- [5] Askin M., Gavalier J.R., Gragg J., Desoux M. // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. N 4. P. 1044-1048.
- [6] Алексеев А.Н., Козлова Н.Д., Козырев А.Б., Самойлова Т.Б. // Радиоэлектроника за рубежом. 1981. В. 4. С. 1-28.

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

Поступило в Редакцию
6 апреля 1989 г.
В окончательной редакции
27 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 16 26 августа 1986 г.
05.4

ТЭТА - ВСПЫШКИ В ВОЗВРАТНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ И СОЕДИНЕНИЯХ С ПЕРЕХОДОМ МЕТАЛЛ - ИЗОЛЯТОР

А.И. Б у з д и н, В.В. М о щ а л к о в,
А.Ю. С и м о н о в

При взаимодействии высокоэнергетических заряженных частиц с конденсированными средами в окрестности трека частицы возможны кратковременные температурные вспышки, рассмотренные М.И. Кагановым, И.М. Лифшицем, Л.В. Тантаровым [1, 2] и названные ими тэта-вспышками.

В настоящей статье предлагается механизм использования таких вспышек для обнаружения, регистрации и спектроскопии высокоэнергетичных заряженных частиц, основанный на том, что в ряде соединений при повышении температуры наблюдается резкое падение сопротивления. В качестве примера можно привести возвратный сверхпроводник $ErRh_4B_4$, который находится в сверхпроводящем состоянии лишь при температуре, лежащей в интервале от $T_{c2} = 0.93$ К до $T_{c1} = 8.7$ К [3]. Если поддерживать образец при температуре, чуть меньшей, чем температура нижнего перехода T_{c2} , то при пролете высокоэнергетичной частицы вещество в объеме тэта-вспышки перейдет на какое-то время в сверхпроводящее состояние. Подобный переход может быть легко зарегистрирован по возникновению сверхпроводящей закоротки и падению напряжения между контактами на противоположных сторонах образца.

Аналогичная ситуация может возникнуть также в соединениях с резким переходом металл-изолятор, например в VO_2 , переходящем при нагреве в металлическое состояние ($T_c = 340$ К)