

05.4

© 1991

ДЖОЗЕФСОНОВСКИЕ КОНТАКТЫ *Nb-SiC-Nb*

И.Ю. Борисенко, В.М. Закосаренко,  
Е. В. Ильичев, В.И. Кузнецов,  
В.А. Тулин

Создание высококачественных джозефсоновских структур для реализации целого ряда криоэлектронных устройств до сих пор является актуальной задачей. На первое место здесь выходит технология изготовления контактов, которая должна удовлетворять следующим требованиям: а) возможность легко контролировать технологические операции, б) высокая степень воспроизводимости параметров. Кроме того, необходимо обеспечить надежность изготовленных структур при термоциклировании и их стабильность во времени. Поэтому в качестве сверхпроводника был выбран *Nb*, жесткий металл с достаточно высоким  $T_c$  (мягкие материалы при термоциклировании склонны к образованию острых выступов, разрушающих барьерный слой). Выбор *SiC* обусловлен уникальными свойствами этого материала: высокая химическая стабильность, стойкость в агрессивных средах, высокая твердость и однородность пленок, достаточно низкая диэлектрическая проницаемость. Напыление пленок *SiC* и *Nb* в едином вакуумном цикле и отсутствие процесса окисления позволяет более полно удовлетворить требованиям а) и б) по сравнению с альтернативными процессами.

Джозефсоновские контакты в форме сэндвича изготавливались следующим образом: а) отмывка подложек перед напылением; б) напыление *Nb*; в) оптическая фотолитография, травление *Nb*, снятие фоторезиста; г) напыление *SiC* и *Nb*.

Для напыления пленок использовалась магнетронная высокочастотная (13.56 МГц) напылительная установка с возможностью подачи смещения на подложку, *SCM 601 J (Alcatel)*. Охлаждение подложки отсутствовало. Импульс использовался плоский магнетрон с диаметром мишеней 150 мм, с водяным охлаждением. Расстояние мишень-подложка равнялось  $\approx 60$  мм. Остаточное давление  $\approx 3 \cdot 10^{-7}$  мбар.

В качестве подложек использовались стандартные пластины монокристаллического *Si* диаметром 75 мм и толщиной  $\approx 0.4$  мм, а также пластины ситалла диаметром 40 мм.

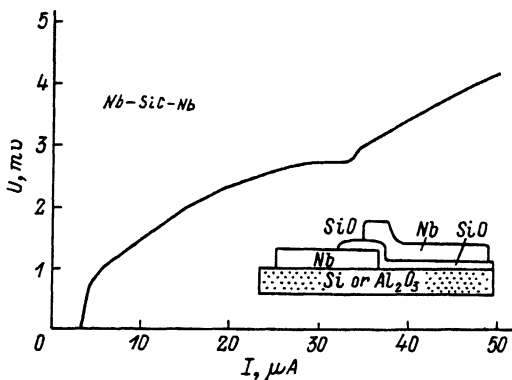


Рис. 1. Характерная ВАХ контакта. На вставке к рисунку схематически изображен поперечный срез структуры *Nb-SiC-Nb*.

Перед напылением подложки из *Si* проходили стандартную обработку: гидромеханическую отмычку, обработку в растворе Каро, отмычку в деионизированной воде. Для ситалла использовалась лишь гидромеханическая отмычка в деионизированной воде. После загрузки подложки в установку и достижения остаточного давления  $\approx 10^{-6}$  мбар производилась очистка мишени перед распылением и одновременная очистка подложки подачей на нее смещения  $V_{bias} \approx -300$  В. Мощность ВЧ генератора при этом составляла 1.1 кВт, давление *Ar*  $\approx 6 \cdot 10^{-3}$  мбар, время очистки 40 с. Мишень при этом была отделена от подложки заслонкой. Затем смещение на подложке снижалось до  $-70$  В, заслонка открывалась и со скоростью  $25 \text{ \AA}/\text{с}$  напылялась пленка *Nb* толщиной 1000–2000  $\text{ \AA}$ .

В стандартном процессе фотолитографии использовался позитивный фоторезист. После травления *Nb* промывки в деионизированной воде, снятия фоторезиста и новой промывки напылялись слои *SiC* и *Nb* при условиях, аналогичных описанным ранее: после одновременной очистки подложки и мишени *SiC* смещение на подложке убиралось, а мощность генератора снижалась до 300 Вт, что соответствует скорости напыления *SiC*  $\approx 3 \text{ \AA}/\text{с}$ .

По истечении 20 секунд процесс прерывался, подложка переводилась к мишени *Nb* и после чистки мишени в течение 40 секунд на подложку напыляли *Nb* при мощности генератора 1.1 кВт,  $V_{bias} = -700$  В со скоростью  $25 \text{ \AA}/\text{с}$ . Далее процесс фотолитографии и жидкостного травления повторяли, в результате получалась структура, показанная на вставке к рис. 1.

Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводились в жидком гелии при  $T=4.2$  К. Характерная ВАХ контакта представлена на рис. 1. Отметим ее основные особенности.

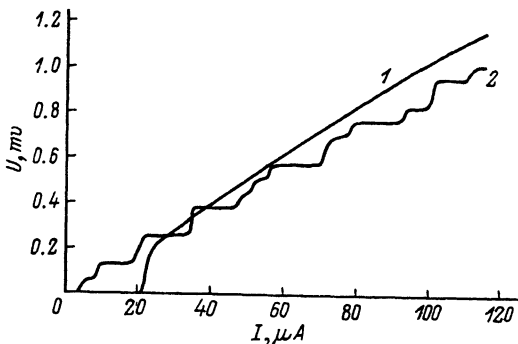


Рис. 2. Начальный участок ВАХ контакта в автономном режиме (1) и результат воздействия на контакт СВЧ сигнала с частотой 32 ГГц (2).

1) Величина щели  $2\Delta = 2.75$  мВ соответствует щели чистого Nb при 4.2 К. Это показывает на отсутствие диффузии между SiC и Nb и позволяет прогнозировать долговечность контакта. Здесь отметим, что использование кремния в качестве прослойки в переходах Nb-Si-Nb приводит к образованию силицидов ниобия, о чем свидетельствует пониженное щелевое напряжение [1].

2) Значение характерного напряжения  $V_0 = I_c R_N$ , где  $R_N$  - нормальное сопротивление джозефсоновского контакта,  $I_c$  - его критический ток, составляет  $\approx (2-8) 10^{-4}$  В, а  $R_N$  меняется в диапазоне  $10-10^2$  Ом.

3) Безгистерезисность ВАХ. В рамках резистивной модели джозефсоновского контакта это означает, что безразмерная емкость переходов  $\mathcal{B}$  не превышает единицы [2].

Перечисленные свойства контактов показывают перспективность использования их в сквидах постоянного тока и для приема СВЧ сигналов. На рис. 2 представлена ВАХ образца при воздействии на него СВЧ сигнала с частотой 32 ГГц. Здесь наблюдается серия вертикальных ступенек тока при напряжениях  $V_n = h f n / 2 e$ , где  $f$  - частота СВЧ сигнала,  $n = 0, \bar{+}1, \bar{+}2 \dots$ . Для данного образца удалось разрешить ступеньки до  $n = \bar{+}20$ . Величина ступенек осциллирует при изменении мощности СВЧ излучения.

Для получения информации о прослойке нами были исследованы пленки SiC толщиной 60-400 Å при помощи обратной электронографии и оже-спектроскопии. На электронограмме рефлексы и кольца отсутствовали, что говорит об аморфности пленок. Оже-спектроскопия показала отсутствие примесей в исследуемых образцах.

В заключении отметим следующее:

1) Малая емкость контакта и малое, по сравнению с «щелевым» напряжение  $V_0$  дают основание полагать, что здесь мы имеем дело с шунтированным туннельным контактом.

2) Отсутствие значительного избыточного тока указывает на то, что в реализованных структурах отсутствуют сверхпроводящие закоротки.

Мы надеемся в дальнейшем уточнить приведенные в конце работы выводы.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гудков А.Л., Лихарев К.К., Махов В.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. № 23. С. 1423-1428.  
[2] Бароне А., Патерно Дж. Эффект Джозефсона. М.: Мир, 1984. 639 с.

Поступило в Редакцию  
28 декабря 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 6

26 марта 1991 г.

05.2; 07

© 1991

### ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В СПЛАВАХ $Hg_{1-x}Mn_xTe$ И $Hg_{1-x}Cd_xTe$

Е.И. Георгицэ, В.И. Иванов - Омский,  
В.М. Погорлецкий, В.А. Смирнов,  
А.Н. Титков

С целью изучения влияния обменного взаимодействия электронов с ионами марганца на релаксацию электронных спинов в настоящей работе изучалась оптическая ориентация в сплаве  $Hg_{1-x}Mn_xTe$  ( $x=0.23$ ,  $N_A - N_D \sim 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  при 77 К) и близких по параметрам энергетического спектра сплавов  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  ( $x=0.69$ ,  $N_A - N_D \sim 1.1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , при 77 К); ( $x=0.61$ ,  $N_A - N_D \sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$  при 77 К) при температуре 4.2 К. Измерялась степень циркулярной поляризации [1] фотолюминесценции, возбуждаемой циркулярно поляризованным излучением лазеров, на длинах волн 1.52 мкм и 1.15 мкм. Энергия кванта возбуждения выбиралась таким образом, чтобы его превышение над величиной запрещенной зоны было минимальным. Плотность возбуждения достигала  $10 \text{ Вт/см}^2$ .

На рис. 1 представлены спектры фотолюминесценции для исследованных образцов при 4.2 К в отсутствии магнитного поля. Ранее было показано, что природа наблюдаемых полос фотолюминесценции соответствует излучательной рекомбинации свободных электронов с дырками, находящимися на акцепторах или в валентной