

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ НЕЛОКАЛЬНОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ШАРВИНА

И. Ю. Борисенко, Е. Е. Вдовин, А. Ю. Касумов,
Н. А. Кислов, Л. С. Козанчик, В. Н. Матвеев

Сопротивлением Шарвина называют сопротивление такого микроконтакта (МК) между двумя проводниками, диаметр которого d меньше длины свободного пробега электронов в проводнике l [1].

Общепринято считать, что сопротивление Шарвина формируется лишь в приконтактной области размера d [2]. Вместе с тем само существование сопротивления, безусловно, обеспечивается процессами рассеяния электронов, происходящими вдали от контакта, на расстоянии $\sim l$ от него [3].



Рис. 1. Два отверстия в SiO_2 .

Черные кружочки — поверхность монокристалла Bi, свободная от SiO_2 . Образец расположен перпендикулярно электронному пучку; при таком расположении наиболее точно фиксируются размеры микроконтактов. Длина масштабной метки 1 мкм.

В настоящей работе показано, что сопротивление баллистических МК к поверхности сверхчистого монокристалла Bi ($R_{300\text{ K}}/R_{4.2\text{ K}} \approx 800$) формируется в области, значительно превышающей размеры контакта.

Монокристаллы Bi выращивались по методу Чохральского, причем режимы роста подбирались таким образом, чтобы грань C_3 кристалла была зеркально гладкой. Затем из монокристалла электроэрозионным способом вырезалась пластина толщиной 2 мм, размером 10×20 мм; во время резки рабочая поверхность кристалла была защищена. Далее на зеркальную поверхность пластины магнетронным способом напылялся слой SiO_2 толщиной 3000 Å. В слое SiO_2 вытравливались отверстия с помощью азотного лазера ($\lambda = 337$ нм) на установке ЭМ 551А, предназначенной для ремонта фотошаблонов. Длительность лазерного импульса 10 нс, частота повторения 1000 Гц. Отверстия имеют форму усеченного конуса, вершиной прилегающего к поверхности монокристалла. Диаметр основания конуса составляет около 2 мкм и задается диаметром сфокусированного пучка.

Диаметр вершины конуса (который собственно и является диаметром МК) варьировался путем подбора режимов лазерного испарения от 0.1 до 0.8 мкм (рис. 1). Время испарения всего слоя SiO_2 до появления отверстия составляло несколько десятков секунд, т. е. за время одного импульса испарялось менее 0.1 монослоя SiO_2 . Подобный режим обработки применялся при импульсном лазерном отжиге дефектов. Наши контрольные из-

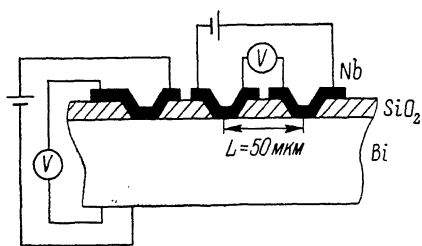


Рис. 2. Схема измерения сопротивлений микроконтактов.

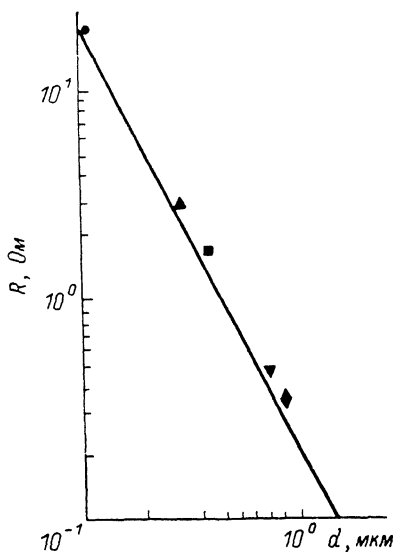


Рис. 3. Зависимость сопротивления микроконтактов от их диаметра.

Различные точки относятся к различным микроконтактам. Сплошная прямая — теоретический расчет для баллистических микроконтактов на поверхности $C_2 \text{Bi}$ [6].

мерения показали, что в области лазерного воздействия не происходит повышения плотности дислокаций.

После мягкой очистки поверхности ионами аргона верх слоя SiO_2 напылялась пленка Nb (также магнетронным способом) толщиной 1000 Å. Пологие стенки отверстия позволяют полностью запылять пленкой Nb поверхность Bi, свободную от SiO_2 .

Выбор Nb диктовался тем, что он практически нерастворим в Bi (так же как и Si [4]) и обладает хорошими сверхпроводящими свойствами. Посред-

ством лазерного испарения вырезались токоподводящие дорожки из Nb к МК, выбранному на электронном микроскопе.

Измерения сопротивления МК проводились при 1.6—9 К. При более высоких температурах токоподводящие дорожки из Nb переходили в нормальное состояние и давали вклад в сопротивление,

Сопrotивление микроконтактов (Ом), измеренное двумя способами при 1.6 К

Первый способ	Второй способ	Относительное отклонение от суммы сопротивлений ΔR , %
$R_1 = 2.825$	$R_{1,2} = 2.737$	15
$R_2 = 0.387$	$R_{1,3} = 2.795$	10
$R_3 = 0.268$	$R_{2,3} = 0.276$	58

сравнимый с вкладом МК. Измерения сопротивления проводили двумя способами (рис. 2).

В первом, традиционном, способе ток проходил через МК и через массивный контакт, припаянный к периферии кристалла на расстоянии, намного превышающем длину свободного пробега электронов. Сопротивление припаянного контакта и области монокристалла, по которой течет ток, составляло 10^{-4} Ом, что на несколько порядков меньше сопротивления МК.

Измерялась разность потенциалов между периферийной точкой монокристалла и МК. Таким образом измерялось сопротивление каждого МК. Оно оказалось близким к рассчитанному по формуле Шарвина (рис. 3). Температурная зависимость сопротивления МК имеет металлический ход, т. е. с ростом температуры сопротивление увеличивается. Вольт-амперные

характеристики МК симметричны относительно направления тока и почти линейны вплоть до перехода Nb в нормальное состояние. В работе приводятся величины сопротивлений МК только в линейной области характеристики.

Во втором способе ток проходил через два МК, расположенных на расстоянии $L \ll l$, и измерялась разность потенциалов между ними.

С точки зрения электрических цепей, таким образом, мы соединяем два сопротивления последовательно и измеряем падение напряжения сразу на двух сопротивлениях.

Однако оказалось, что общее сопротивление $R_{1,2} < R_1 + R_2$, где R_1, R_2 — сопротивления отдельных микроконтактов, измеренных традиционным способом (см. таблицу). Индекс «2» относится к центральному МК; индексы «1», «3» — к МК, расположенным по разные стороны от центрального на расстоянии 50 мкм; МК лежат вдоль оси C_2 кристалла. Причем для одной пары МК $R_{1,2}$ оказывается приблизительно в два раза меньше, чем сумма $R_1 + R_2$. Но если подобное измерение проводить для пары МК, удаленных друг от друга на расстояние $L \gg l$, то правило последовательного соединения сопротивлений выполняется (с точностью 0.2—0.3 %) и $R_{1,2} = R_1 + R_2$.

Этот результат полностью противоречит предположению о локальности сопротивления Шарвина, из которого следует, что $R_{1,2} = R_1 + R_2$ вплоть до расстояний $L \approx d$ (проникновение куперовских пар на расстояние $L = 50 \div 100$ мкм, по-видимому, можно исключить для области температур, в которой проводилось измерение сопротивлений МК [6]).

В настоящее время мы не можем привести последовательной интерпретации обнаруженного явления. Можно только указать на то, что во всех прежних экспериментах либо разность потенциалов измерялась на расстояниях от МК $\gg l$ [3, 7], либо приконтактная область сильно механически повреждалась, т. е. МК по сути дела не были баллистическими [8] (исключение составляет эксперимент, выполненный на двумерных МК, в котором получен результат, близкий нашему [9]).

Авторы благодарны Л. И. Глазману, И. Б. Левинсону, Е. В. Сухорукову, А. В. Хаецкому за обсуждение результатов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Шарвин Ю. В. // ЖЭТФ. 1965. Т. 48. № 3. С. 984—985.
- [2] Левинсон И. Б., Сухоруков Е. В., Хаецкий А. В. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. № 8. С. 384—386.
- [3] Вдовин Е. Е., Касумов А. Ю., Копецкий Ч. В., Левинсон И. Б. // ЖЭТФ. 1987. Т. 92. № 3. С. 1026—1041.
- [4] Эллиот Р. П. Структуры двойных сплавов. Т. 1.. М.: Металлургия, 1970. С. 456.
- [5] Сухоруков Е. В., Хаецкий А. В. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 4. С. 1098—1101.
- [6] Shepherd J. T. // Proc. Roy. Soc. 1972. V. A326. N 1. P. 421—429.
- [7] Вдовин Е. Е., Касумов А. Ю. // Письма ЖЭТФ. 1987. Т. 46. № 11. С. 440—443.
- [8] Асс Е. И., Грибов Н. Н. // ФНТ. 1987. Т. 13. № 7. С. 645—647.
- [9] Wharam D. A., Pepper M., Ahmed N., Frost J. E. F., Hasko D. C., Peacock D. C., Ritchie D. A., Jones C. A. C. // J. Phys. C. 1988. V. 21. N 24. P. L887—L891.

Институт проблем технологии
микроэлектроники и особочистых
материалов АН СССР
Черноголовка
Московская область

Поступило в Редакцию
9 февраля 1989 г.