

05;11;12

Локальная металлическая проводимость тонких пленок полиимида как результат "мягкого" электрического пробоя

© А.М. Ельяшевич, А.Н. Ионов, В.М. Тучкевич, М.Э. Борисова,
О.В. Галюков, С.Н. Койков

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 18 марта 1997 г.

В работе исследован электрический пробой тонкой пленки полиимида между металлическими электродами в условиях сильного ограничения пробойного тока. Результатом такого "мягкого" электрического пробоя является возникновение локального высокопроводящего канала в диэлектрической пленке, состоящей из соединения углерода и металла из электродов, имплантированного в полимер. Показано, что переход полимерного канала в сверхпроводящее состояние обусловлен сверхпроводящими свойствами металла из электродов.

Как было установлено в [1,2], в полиимидной пленке, помещенной между металлическими электродами, при давлении несколько кг/см^2 и напряжении ≈ 1 кВ может возникнуть проводящий канал, проводимость которого сохраняется вплоть до низких (гелиевых) температур. В этом случае наблюдается обратимый эффект переключения ("сенсорный эффект") из проводящего в непроводящее состояние и обратно, соответственно, при уменьшении и увеличении давления (величина сопротивления канала зависит от давления, приложенного к пленке). Появление проводимости связывалось с проникновением в полимер металла электродов. В настоящей работе мы поставили цель установить природу проводящего канала.

Для исследования были выбраны пленки толщиной 12 мк полиимида, выпускаемые фирмой Дюпон. Прежде всего было подтверждено, что воздействие давления на полимерную пленку в отсутствие приложенного электрического напряжения не приводит к появлению "сенсорного эффекта". После того, как в таких пленках образовался проводящий канал, они могли быть отделены от электродов, помещены между электродами из другого металла.

Условия образования в пленке проводящего канала были выбраны такими, что в момент электрического пробоя через образец не допускалось протекание тока более нескольких мкА. Такие условия мы назвали условиями "мягкого пробоя". Минимальный по абсолютной величине ток, при котором в наших экспериментах осуществлялся пробой, был равен 0.1 мкА.

При наблюдении под микроскопом с 96–400 кратным увеличением во всех пленках с проводящим каналом обнаруживался след пробоя в виде одиночного круглого отверстия, диаметр которого (от 3 до 30 мк) зависел от величины тока пробоя. С обеих сторон пленки по периметру отверстия наблюдалось кольцо толщиной 1–2 мк с характерным металлическим блеском, который в принципе может быть вызван и графитоподобными структурами, образованными при "мягком пробое".

Пленки, проводящие каналы в которых были получены в результате "мягкого пробоя" между парами электродов из Nb, Re, графита и Ge, помещались затем между электродами из Nb. При приложении к электродам внешнего давления того же порядка величины, что и при "мягком пробое" между электродами, возникала проводимость. Появление проводимости фиксировалось по исчезновению шумового сигнала на входе цифрового вольтметра с высоким входным сопротивлением, подключенного к структуре Nb–полимер(Me)–Nb. После этого структура помещалась в гелиевый криостат, где исследовалась ее температурная зависимость проводимости в интервале температур 1.4–4.2 К. Выбор Nb был обусловлен тем, что в исследованном температурном интервале исключался вклад электродов в общее сопротивление, т.к. для Nb температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_c = 9.3$ К.

Прежде всего для того, чтобы выяснить, отвечает ли за проводимость канала металлический дендрит, пронизывающий полимер, мы осуществили мягкий пробой пленки полимера между электродами из Ge, легированного As с концентрацией примеси $n = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3} < n_c$, где n_c ($3.5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) — критическая концентрация примесей (As), соответствующая переходу в металлическое состояние. При исследовании проводимости структуры Nb–полимер(Ge)–Nb при гелиевых температурах наблюдался не экспоненциальный рост сопротивления как это следовало бы ожидать для Ge дендрита с такой концентрацией примесей, а, напротив, температурная зависимость сопротивления канала практически отсутствовала. Это указывало на металлический характер проводимости проводящего канала. Та же картина наблюдалась и в

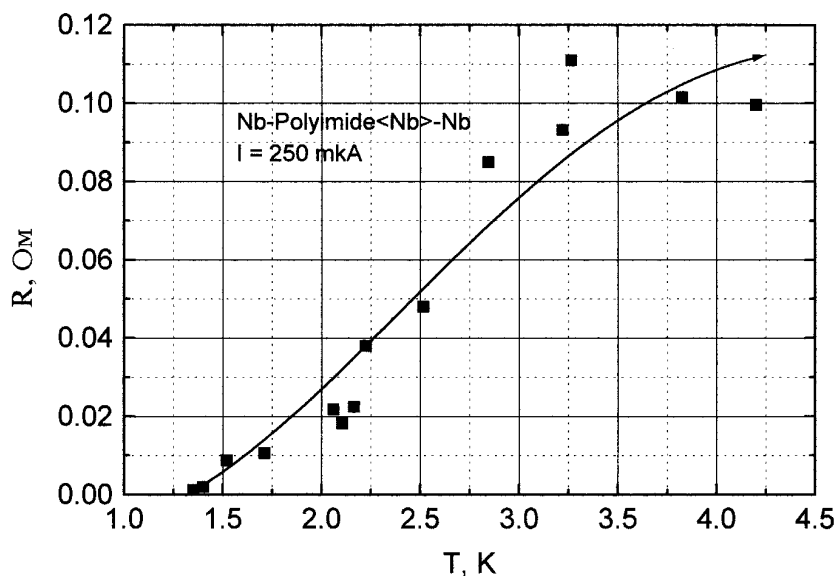


Рис. 1. Зависимость сопротивления от температуры для проводящего канала в полимере, сформированного между двумя электродами из ниобия.

структурах Nb–полимер(графит)–Nb. Эти эксперименты указывают на то, что при ”мягком пробое” проводящий канал образуется за счет ее графитизации.

Совершенно другая картина наблюдалась в случае, когда ”мягкий пробой” осуществлялся в пленке, помещенной между электродами из сверхпроводящего при низких температурах Nb. В этом случае, как видно из рис. 1, сопротивление структуры Nb–полимер(Nb)–Nb резко уменьшается при $T < 3.5$ К, а при $T_c = 1.4$ К сопротивление канала практически становится равным 0. При этом наблюдаемое значение температуры сверхпроводящего перехода много меньше общепринятого значения T_c для объемного Nb. Такое поведение свидетельствует о том, что структура проводящего канала не сводится к простой металлической оболочке стенки сквозного отверстия или металлическому дендриту, а имеет более сложный характер. Можно предположить, что при мягком пробое пленки, помещенной между металлическими электродами, на внутренней стенке сквозного отверстия образуется слой соединения

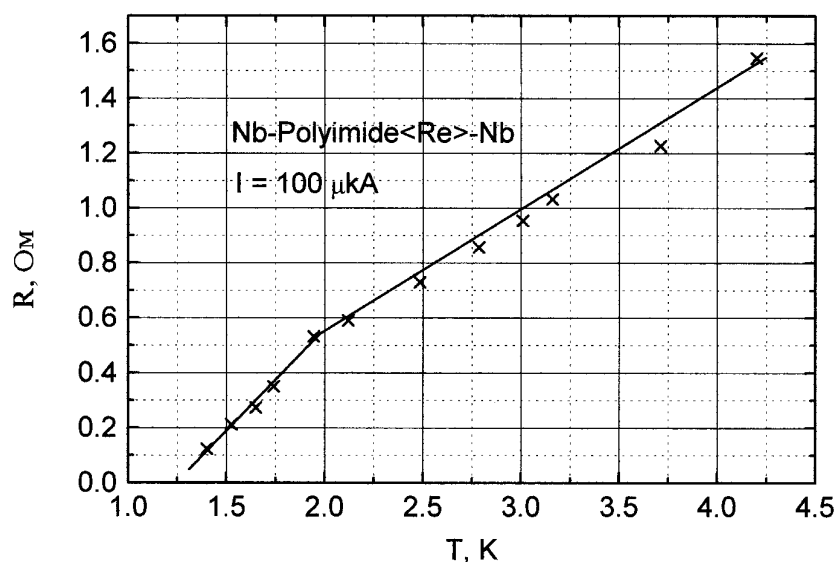


Рис. 2. Зависимость сопротивления от температуры для проводящего канала в полимере, сформированного между двумя электродами из рения.

углерода со сверхпроводящим металлом, что и обуславливает переход в сверхпроводящее состояние с понижением температуры. Известно, что соединения углерода со сверхпроводящими металлами обладают сверхпроводящими свойствами, но T_c для них может быть ниже, чем T_c для чистого сверхпроводника [3].

Исследование структуры Nb–полимер(Re)–Nb также показало, что при $T < 1.9$ K наблюдается резкое уменьшение сопротивления с температурой (рис. 2), что соответствует переходу Re в сверхпроводящее состояние ($T_c = 1.7$ K). Эти эксперименты подтверждают существенное влияние металла электродов на характер проводимости канала, образующегося в результате мягкого пробоя.

Выражаем благодарность профессору В. А. Закревскому за обсуждение.

Работа поддержана фондом РФФИ грант N96-03-33730.

Список литературы

- [1] *Ельяшевич А.М., Ионов А.Н., Ривкин М.М., Тучкевич В.М.* // Физика твердого тела. 1992. Т. 34. В. 11. С. 3457–3464.
- [2] *Ельяшевич А.М.* и др. // Высокомолекулярные соединения. 1993. Т. 35. В. 1. С. 50.
- [3] Сверхпроводящие соединения переходных металлов. Наука, 1976.