

Эффекты резистивных переключений в гетеропереходах на базе ВТСП и легированных манганитов - демонстрация примесного фазового расслоения поверхностного слоя.

Н.А.Тулина

Институт Физики Твердого тела РАН, 142432 Московская обл, Черноголовка, Россия

В.В.Сироткин

Институт проблем микроэлектроники и чистых веществ РАН, 142432 Московская обл, Черноголовка, Россия

Перовскитные структуры на базе окислов переходных металлов являются основой нескольких систем с интересными свойствами как в фундаментальном плане, так и в прикладных исследованиях, это высокотемпературные сверхпроводники, легированные манганиты и т.д. Интерес к ним связан, с одной стороны, с ожидаемыми практическими применениями. С другой - с точки зрения фундаментальной физики - они сконцентрировали несколько злободневных и широко дискутируемых проблем. Родительскими структурами этих соединений являются антиферромагнитные диэлектрики. Замена редкоземельного элемента на двухвалентный Sr, Ba, Ca, Pb приводит к переносу заряда, появлению свободных носителей. При этом роль кислорода очень существенна в формировании ферромагнитного состояния в легированных манганитах и сверхпроводящего в ВТСП. Другой характерной чертой этих систем является способность существовать в фазово-смешанном состоянии (ФР- фазовое расслоение), которое представляет новое еще недостаточно изученное состояние вещества [1].

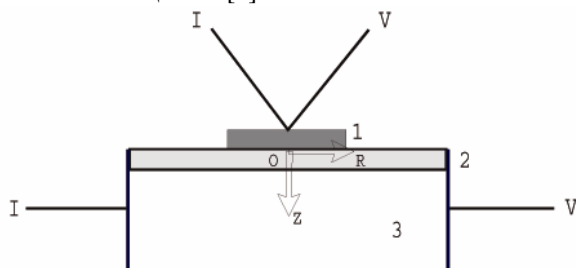


Рис.1.Схема гетероконтакта.

1- металлический электрод радиуса r_0 : серебряная игла или пленка. 2- поверхностный деградированный слой монокристалла толщиной Z . 3- монокристалл цилиндрической формы радиуса r_b , толщиной h . I, V -токовые и потенциальные подводы.

В наших предыдущих работах [2] был обнаружен эффект электронной нестабильности гетеропереходов на базе монокристаллов BSCCO и легированных манганитов. Этот эффект проявляется в обратимом переключении резистивных свойств поверхностного слоя монокристалла в гетеропереходах с металлического на

диэлектрический (полупроводниковый) в условиях значительной токовой инжекции.

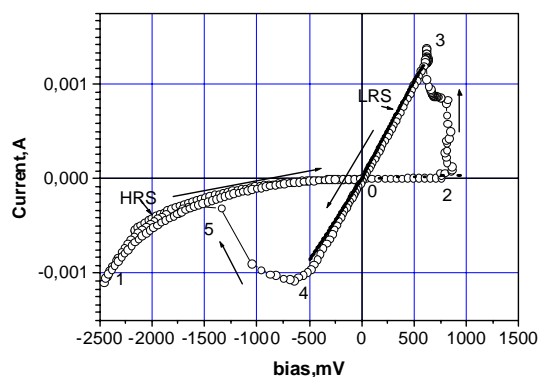


Рис.2. Пример вольтамперной характеристики гетероконтакта монокристалл $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y} - \text{Ag}$ с воспроизводимыми переключениями между низкорезистивным (LRS) и высокорезистивным (HRS) состояниями. Стрелками указаны направления развертки напряжения. В этом примере электрическое поле $-\vec{E}(\mathbf{J})$ направлено от поверхности в глубь кристалла, когда напряжение развертки положительно, $\vec{E}(\mathbf{J}) = \mathbf{J} * \sigma$ (\mathbf{J} -плотность тока, σ - проводимость). Открытые кружки - экспериментальные точки, сплошные линии - расчетные значения ВАХ для LRS и HRS состояний.

Основные черты наблюдаемого эффекта

При определенном напряжении происходит кардинальная перестройка зарядового состояния поверхностного слоя. ВАХ гетероконтакта переключается с низкорезистивной ветви на высокорезистивную и наоборот (рис.2). Эффект был обнаружен при исследовании микроконтактов малых размеров (диаметром $d \approx 10^{-6} - 10^{-3}$ см), полученных механическим путем (рис.2). Но оказалось, что и на пространственно протяженных напыленных переходах с площадью порядка 1 мм^2 эти эффекты также наблюдаются. Это свидетельствует о том, что эффекты электронной нестабильности связаны с внутренними свойствами контакта нормальный металл- деградированная поверхность ВТСП, легированный манганит. Температурная зависимость сопротивления двух метастабильных состояний (рис.3) подтверждает различие между этими состояниями одно состояние низкомное -LRS имеет металлический тип

проводимости. Другое- высокорезистивное -HRS с термоактивированным типом проводимости и с пониженной температурой сверхпроводящего перехода.

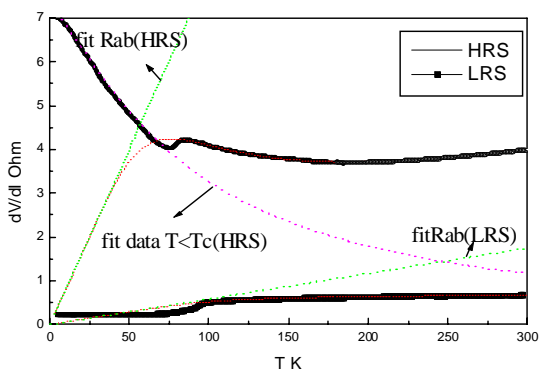


Рис.3. Температурная зависимость двух резистивных состояний гетероконтакта $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ — пленка Ag.

Наблюдаемые явления достаточно хорошо воспроизводимы, полярны и с эффектом памяти. Ветви ВАХ «1-2» и «3-4» рис.2 обратимы. Переключение с одной ветви на другую происходит на участках ВАХ «2-3» и «4-5».

Как видно из выше изложенного, переключение резистивных свойств гетероконтактов происходит при достаточно большом уровне развертки по напряжению и, следовательно, значительном выделении мощности. Возникает вопрос, как влияют возможные перегревы на свойства гетероконтактов. Для разрешения этих вопросов и детального изучения электродинамических и тепловых свойств гетероконтактов при протекании электрического тока были решены численными методами уравнения 1,2:

$$\nabla[\sigma(P,T) \nabla\phi]=0 \quad P=(r,z) \quad (1)$$

$$C_p(P,T)\partial T/\partial t=\nabla[\lambda(P,T)\nabla T]+\sigma[\nabla\phi]^2 \quad (2)$$

σ - электропроводность, ϕ - электропотенциал, $P=(r,z)$ - координаты, C_p -теплоемкость, λ -теплопроводность. Были рассчитаны сопротивления R , температурные поля, эквипотенциальные и токовые распределения в области контакта при развертке электрического поля с разными скоростями. При этом учитывалось возможная поверхностная прослойка глубиной Z с отличной от объемной проводимостью.

Анализ таких расчетов показывает, что в точечной геометрии растекания тока есть особая точка (на границе контакта), где потенциальные силовые линии сгущаются. Наличие поверхностного слоя с большим сопротивлением, чем объемное, приводит к концентрации электрического поля именно в этом месте. Это хорошо видно на рис.4. Области максимальной температуры перегрева, связанные с выделением мощности при протекании тока, неоднородно распределены по контакту и

находятся на границе поверхностного слоя и объема кристалла. На рисунке 2 показана аппроксимация экспериментальных данных, используя выше описанный подход. Как видно из рисунка, согласие

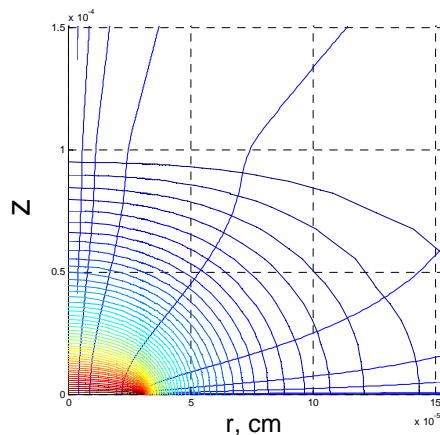


Рис.4. Пример распределения токовых и потенциальных линий вблизи контакта, $d=6 \cdot 10^{-5}$ см. (Показано сечение 0-Z-R, схема контакта).

расчетных данных с экспериментальными вполне хорошее. Таким образом, три фактора лежат в основе электронной неустойчивости ВАХ гетероконтактов на базе ВТСП и манганитов: 1) Деградация свойств на поверхности в результате потери кислорода. Достаточная высокая подвижность кислорода (вакансий). 2) Неоднородное распределение и концентрация электрического поля в точечной геометрии растекания тока в гетеропереходах. 3) Возможность фазового расслоения в легированных манганитах и ВТСП на обогащенные и обедненные носителями области вблизи перехода металл-диэлектрик. В некоторой области контакта электрическое поле при определенной нагрузке достигает критического значения $E_{кр}(J)$ достаточного для движения ионов по вакансиям (в этой же области также повышается температура). Это вызывает перераспределение зарядов, фазовое расслоение и образование области обогащенной носителями -LRS состояние. На ВАХ рис.2 ветвь “0-2-3”. Это состояние метастабильно и демонстрирует металлический тип проводимости (рис.3). При изменении знака электрического поля (ветвь “0-4-5” ВАХ) ионы под влиянием поля уходят из контакта, уменьшая плотность носителей, область под контактом диэлектризуется - HRS состояние (ветвь “4-5” рис.2). Данная работа поддержана РФФИ грант № 02-02-16760а и Российским Министерством образования и науки проект «Сверхпроводимость мезоскопических и сильно коррелированных систем».

1.Gorkov L.P., Sokol A.V., Письма ЖЭТФ 46, 333 (1987); Nagaev E.L, УФН 166, 833 (1996); Dagotto E et al, Physics Reports 344, 1 (2001).

2.Tulina N.A.Physica C 333, 214 (2000); Tulina N.A., Zver'kov S.A., Mukovskii Y.M., et al.Europhys Let 56 (2001) 836.