

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР  
имени Б.И.Веркина

На правах рукописи

РОЖОК Сергей Васильевич

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ И РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТЕ  
ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ, ИНЖЕКТИРОВАННЫХ В КРИСТАЛЛ ВИСМУТА  
С ПОМОЩЬЮ МИКРОКОНТАКТА

(01.04.07. - Физика твердого тела)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Харьков-1996



46 35. 288

Дисертація являється рукописью.

Робота виконана в Фізико-технічному інституті низьких температур імені Б.І.Веркіна НАН України

Научні керівники: доктор фізико-математических наук професор Ю.Ф.Комник, кандидат фізико-математических наук В.В.Андрієвський

Офіційні опоненти: доктор фізико-математических наук професор Оболенський М.А. доктор фізико-математических наук Хоткевич А.В.

Ведущая організація - Інститут радіофізики і електроніки НАН України

Захита состоится " 10 " сентября 1996 г. в 15 часов на заседании Специализированного совета Д 02.35.02 при Фізико-технічному інституті низьких температур імені Б.І.Веркіна НАН України (310164, г. Харьков-164, пр.Леніна 47).

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці фізико-технічного інституту низьких температур імені Б.І.Веркіна НАН України.

Автореферат разослан " " июня 1996 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направлять по адресу: 310164, г. Харьков-164, пр.Леніна 47, ФТИНТ НАН України, ученому секретарю Специализированного совета Д 02.35.02.

Учений секретарь Специализированного совета доктор фізико-математических наук

А.С.Ковалев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность выбранной темы определяется необходимостью дальнейшего развития представлений о неравновесных процессах, протекающих в функциональных элементах устройств микро- и наноэлектроники. В таких объектах особую роль приобретают взаимодействие носителей заряда с границей проводника, рассеяние в каналах малого сечения и нелинейные явления, вызванные достижением высоких плотностей тока и сильной релаксацией квазичастиц.

Методический подход, примененный в диссертации для изучения электронного транспорта в объектах микронных размеров, основан на использовании точечных контактов и фокусировки электронов проводимости поперечным магнитным полем [1]. Малые размеры микроконтактов обуславливают возможность исследования транспортных свойств носителей заряда и тепла в масштабах меньших, чем характерные длины рассеяния. Кроме того, в отличие от макроскопических образцов в микроконтактах в области сужения можно создать сильно неравновесные возбуждения. В таких условиях удастся изучать качественную модификацию кинетических явлений по сравнению с аналогичными процессами в массивных проводниках. Информация, получаемая из этих измерений, является принципиальной в понимании природы особенностей кинетических эффектов.

Цель диссертации - изучить в условиях слабой и сильной неравновесности электронного потока релаксационные явления в микроконтактах и тонких приповерхностных слоях, а также интерференционные эффекты, обусловленные волновой природой электронов проводимости.

Для этого в работе решены следующие задачи:

1. Изучены эффекты интерференции и дифракции электронов проводимости на баллистической траектории и в микроконтакте в висмуте.
2. Изучен характер магнитополевого изменения сопротивления приповерхностного слоя и оценена вероятность электрондырочных переходов в случае различной степени зеркальности отражения электронов проводимости от тригональной грани кристалла висмута.

3. Исследована энергетическая релаксация электронов проводимости в висмуте в области микроконтакта. Определен вид температурной зависимости длины электрон-фононной релаксации в микроконтакте в условиях сильной неравновесности электронной системы.
4. Исследована энергетическая релаксация сильно неравновесных электронов в результате акта взаимодействия с поверхностью.

Научная новизна. Диссертация посвящена изучению транспорта электронов проводимости, инжектированных в кристалл висмута с помощью точечного контакта, релаксационным и интерференционным явлениям в микроконтактах. Основное внимание в диссертации уделяется изучению зависимости указанных явлений от степени неравновесности электронной системы. В работе показано, что благодаря использованию точечных контактов и избирательности метода поперечной фокусировки электронов удастся получить информацию о реальных значениях энергии носителей заряда и физических процессах, связанных с их транспортом.

Научные результаты и положения, выносимые на защиту:

1. Получены выражения для интерференционных всплесков на первой линии электронной фокусировки (ЭФ) в условиях интерференции волновых функций электронов, инжектированных многоканальным микроконтактом. Показана возможность наблюдения в геометрии ЭФ интерференции электронов проводимости на баллистической траектории и в микроконтакте.

2. Впервые экспериментально изучена дифракция электронов проводимости в микроконтакте. Получены зависимости положения дифракционных максимумов на линии ЭФ от энергии электронов.

3. Показана доминирующая роль процессов излучения оптических продольных фононов в висмуте в условиях сверхзвукового дрейфа электронов через микроконтакт. Обнаружено существование ярко выраженного релаксационного процесса нефононной природы в условиях сильной неравновесности инжектируемых электронов.

4. Изучены процессы энергетической релаксации электронов при взаимодействии с поверхностью в условиях слабой и

сильной неравновесности электронного потока.

5. Обнаружена линейная магнитополевая зависимость сопротивления приповерхностного слоя кристалла  $\text{Bi}$  в условиях как зеркального, так и диффузного характера отражения электронов. Доказана низкая вероятность электрон-дырочных переходов на тригональной грани кристалла висмута.

#### Научная и практическая ценность работы.

Полученные экспериментальные результаты демонстрируют высокую эффективность метода электронной фокусировки при изучении диффузионного и баллистического транспорта электронов проводимости вблизи поверхности и в объеме кристалла. Впервые с помощью метода поперечной электронной фокусировки удалось исследовать динамику формирования статического скин-слоя в массивных кристаллах, не прибегая к специальным методам учета объемной проводимости. На основе большого числа экспериментов впервые исследованы эффекты дифракции и интерференции электронов проводимости в микроконтакте и на баллистической траектории. Изучена энергетическая релаксация электронов проводимости в микроконтакте с током в условиях сверхзвукового дрейфа носителей заряда и при взаимодействии с поверхностью. Обнаружены дополнительные каналы неупругой релаксации, связанные с возбуждением плазмонов и коллективной колебательной моды в электронной системе металла.

#### Апробация работы. Результаты работы докладывались на:

- XXII научно-технической конференции молодых ученых ФТИИТ, 1991;
- на 29-м Совещании РАН по физике низких температур, Казань, 1992;
- International Conference "Physics in Ukraine", Kiev, 1993;
- 15-th International Cryogenic Engineering Conference and Industrial Exhibition, Genova, Italy, 1994;
- International Conference on Surface Science (ECOSS-14), Leipzig, Germany, 1994;
- Second International Conference on Point-Contact Spectroscopy, Nijmegen, Holland, 1995.

Личный вклад соискателя состоит в создании криогенной вставки и измерительной схемы для проведения ЭФ исследований

и гальваномагнитных измерений в области сильных магнитных полей; приготовлении образцов и микроконтактов; проведении экспериментальных исследований и обработке (с использованием ЭВМ) результатов измерений.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 77 наименований. Полный объем работы составляет 141 страницу, включая 45 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обсуждение актуальности проблемы и научной новизны работы. Приведены положения, выносимые на защиту, сведения об апробации материалов диссертации.

Глава I (обзор) содержит основные сведения о фокусировке электронов проводимости магнитным полем и типах проводящих контактов, теоретическое рассмотрение фокусировки электронов проводимости в монокристалле висмута при баллистическом и диффузионном транспорте носителей в сильном поперечном и продольном магнитных полях.

В главе II описана экспериментальная методика, техника приготовления образцов и микроконтактов.

В главе III исследуется магнитосопротивление статического скин-слоя, возникающего вблизи тригональной грани монокристалла висмута в магнитном поле, параллельном границе. Изучены случаи зеркального и диффузного характера отражения электронов от поверхности. Исследована электронная фокусировка в сильных магнитных полях при баллистическом и диффузионном транспорте носителей в объеме.

В теоретических работах, посвященных статическому скин-эффекту в тонких пластинках, [2,3] показано, что проводимость приповерхностного слоя определяется характером отражения электронов от границы. Согласно [2], эффективная длина свободного пробега в скин-слое при зеркальном отражении электронов от поверхности сравнима с длиной свободного пробега в объеме, а при диффузном отражении ограничивается величиной смещения электрона вдоль поверхности за один скачок. Соответственно сопротивление приповерхностного слоя от магнитно-

го поля изменяется по линейному или квадратичному закону. Согласно [3] линейность зависимости  $\rho(H)$  нарушается либо при высокой вероятности переходов между электронными и дырочными долинами, либо в сильном магнитном поле.

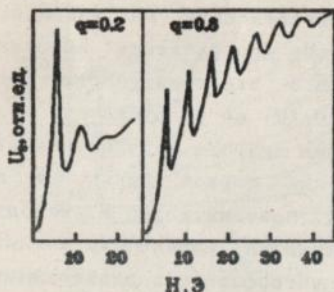


Рис. 1.

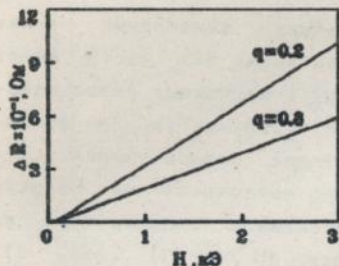


Рис. 2.

образца, заключенного между двумя токонесящими микроконтактами. Существование в обоих случаях линейной зависимости означает, что при диффузном поверхностном рассеянии эффективная длина свободного пробега электронов в скин-слое сохраняется порядка  $l$  и является, по-видимому, столь же большой, как и при зеркальном отражении. Таким образом, следует считать, что процессы рассеяния носителей заряда на тригональной грани кристалла  $Bi$  в магнитном поле представляют собой внутривалентные процессы и не включают заметную долю электрон-дырочных переходов.

Использование методики ЭФ позволило изучить динамику формирования статического скин-слоя. При условии  $L < l$  (баллистический транспорт электронов) линейная зависимость сигнала ЭФ ( $U_c(H)$ ) начинается с весьма слабых магнитных полей ( $2\tau_n \approx L$ ) и сохраняется при любом характере поверхностного

В настоящей работе магнитополное изменение сопротивления тонкого приповерхностного слоя кристалла висмута исследовано с помощью двух микроконтактов, расположенных друг от друга на поверхности кристалла на расстоянии  $L$  меньшем длины свободного пробега электронов  $l$ . Для определения качества исследуемых кристаллов и их поверхности использовался метод поперечной электронной фокусировки [1]. Соотношение между амплитудами пиков сигнала ЭФ (рис. 1) позволяет судить о коэффициенте зеркальности  $q$  на исследуемом участке поверхности образца. Рис. 2 демонстрирует соответствующий вид магнитополевых зависимостей сопротивления участка

рассеяния электронов. При  $L > 1$  перенос заряда осуществляется за счет диффузионного движения электронов с контакта на контакт через объем кристалла. Однако внутридолинное рассеяние электронов в объеме кристалла практически не изменяет плоскости движения электронов, поэтому сохраняется высокая вероятность баллистического переноса неравновесности от эмиттера к коллектору и линейность  $U_c(H)$  не разрушается.

В главе IV обсуждается возможная природа дополнительных пиков малой амплитуды, возникающих на первой линии ЭФ в режиме слабой энергизации носителей. Применительно к методу поперечной ЭФ подробно рассматриваются модели магнитных поверхностных уровней (МПУ) [4,5], интерференции электронных потоков на баллистической траектории, дифракции электронов в микроконтакте.

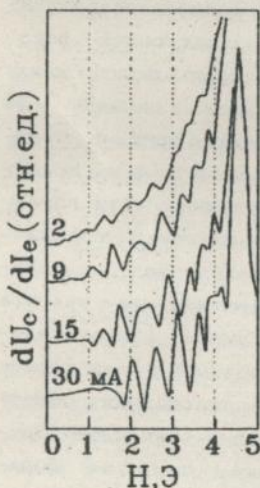


Рис. 3.

При небольших эмиттерных токах (2-50 мА) первая линия ЭФ, часто имеет тонкую структуру в магнитных полях меньших, чем поле  $H_0 = 2c p_f / eL$  ( $p_f$  - фермиевский импульс) для первой линии. Эта структура хорошо выявляется на записях производной потенциала на коллекторе по эмиттерному току  $dU_c/dI_c(H)$  (рис. 3). Анализ зависимости положения максимумов на шкале магнитных полей при изменении энергии инжектируемых электронов привел к заключению, что представленные на рис. 3 кривые не отвечают закономерностям для моделей МПУ и интерференции потоков электронов из двух каналов.

Явление дифракции оказалось наиболее вероятным объяснением пиков тонкой структуры линии ЭФ, полностью и адекватно описывающим их появление и смещение при изменении энергии электронов. Известно, что дифракционные явления возникают в тех случаях, когда волновой поток встречает препятствие или отверстие, размеры которого соизмеримы с длиной волны. Поскольку в висмуте длина волны электронов в направлении оси  $C_3$  имеет величину  $\lambda \approx 1000 \text{ \AA}$ , то явление дифракции электронов в микроконтакте можно ожидать даже при размере последнего  $\sim 1$  мкм. На рис. 4 показана связь между положением диф-

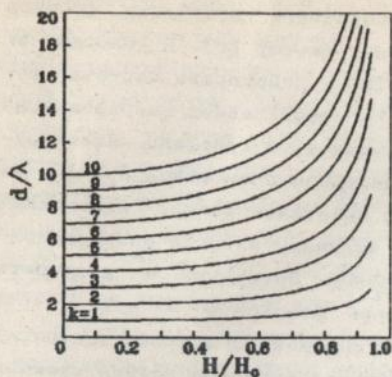


Рис. 4.

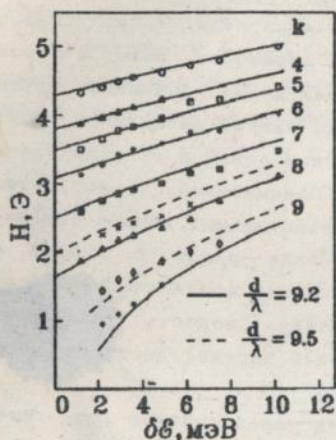


Рис. 5.

В главе V изучаются особенности на кривой ЭФ, связанные с релаксационными процессами в токовом микроконтакте в случае сильной энергизации носителей. Демонстрируются спектроскопические возможности метода поперечной электронной фокусировки. Обсуждается влияние на релаксационные процессы температуры и теплоотода в криогенную жидкость.

При возрастании эмиттерного тока до значений более 40 мА (типичное значение сопротивления микроконтакта  $\sim 1$  Ом) на зависимостях  $dU_c/dI$  (H) при  $H < H_0$  появляются новые дополнительные пики (рис. 6). Они связаны со сбросом избыточной

рациональных максимумов на шкале магнитных полей и отношением диаметра отверстия  $d$  к длине волны электронов  $\lambda$  при различных значениях порядка дифракции  $k$ . Расчет кривых выполнен согласно соотношению, связывающему условие появления дифракционных максимумов ( $\sin\varphi = k \frac{\lambda}{d}$ ) и условие электронной фокусировки ( $L = 2r \cos\varphi$ ,  $\varphi$  - угол рассеяния электронов)

$$\left(\frac{H}{H_0}\right)^2 = 1 - k^2 \left(\frac{\lambda}{d}\right)^2.$$

Анализ

экспериментальных записей убеждает, что всегда удастся выбрать такие значения  $\frac{d}{\lambda}$ , при которых наблюдаемые пики укладываются в одну или две серии с нарастающими значениями  $k$  (исключая лишь область в непосредственной близости к максимуму основной линии ЭФ, где на фоне крутого подъема пики тонкой структуры не различимы). Построение расчетных зависимостей положения пиков от энергии электронов демонстрирует хорошее согласие с экспериментальными наблюдениями (рис. 5).

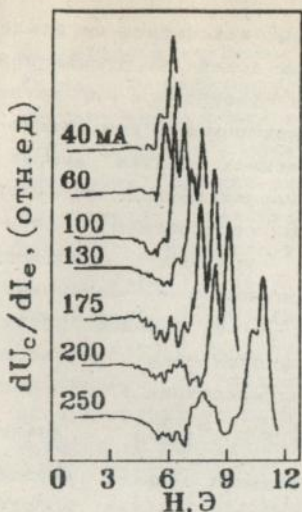


Рис. 6.

в соответствии с условием фокусировки, как и для основной группы электронов. Положение этих пиков на записи сигнала ЭФ соответствует движению по шкале магнитных полей в сторону уменьшения  $H$  по мере роста величины сбрасываемой в результате релаксации энергии. Анализ экспериментальных данных показал, что появление сильного фоновый пика рядом с линией ЭФ (рис. 6) связано с излучением оптических продольных фононов и отвечает ситуации, когда дрейфовая скорость электронов  $V_d = \frac{1}{ne} j$  ( $n$  - концентрация носителей заряда) достигает скорости звука ( $\sim 10^5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ ).

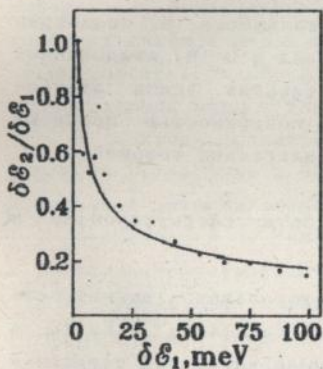
При дальнейшем повышении тока через эмиттер (до значений более  $120 + 150 \text{ мА}$ ) на фоне фоновых особенностей появляется ярко выраженная гигантская особенность (рис. 6), свидетельствующая о появлении нового механизма релаксации, оказывающего влияние на формирование линии ЭФ. Наиболее вероятной причиной появления гигантской особенности является некоторый релаксационный процесс, связанный с генерацией нефоновых возбуждений с энергией  $\sim 40 \text{ мэВ}$ . В работе [8] наблюдали особенность на частотной зависимости коэффициента прохождения света через тонкую пластину висмута, которую можно связать с возбуждением в электронной системе коллективной колебательной моды с характерной энергией  $h\nu = 34 \text{ мэВ}$ .

энергии электронов в области эмиттера в результате излучения фононов выделенных частот [6]. В условиях  $e\mathcal{U} > h\nu_D$ , ( $\nu_D$  - дебаевская частота фононов,  $\mathcal{U}$  - эффективное напряжение на микроконтакте) в кристалл инжектируются электроны с энергией  $\mathcal{E}_F + e\mathcal{U}$ , а также с энергиями меньше максимальной на величину энергии релаксационных фононов. Поскольку в плотности состояний фононов в висмуте [7] имеются выделенные частоты для оптической и акустической ветвей спектра ( $\nu_o, \nu_a$ ), то это может привести к формированию групп электронов с выделенными энергиями. Эти группы электронов формируют пики в соот-

Величина избыточной энергии  $\delta\mathcal{E}$ , приобретаемая электронами в области микроконтакта, определяется не только приложенным напряжением  $V$ , но также температурой контакта и условиями теплоотвода в нем. В эксперименте наблюдается линейное увеличение энергии всех групп инжектируемых электронов с понижением температуры. На основании этого в работе сделан вывод, что длина электрон-фононной релаксации, входящая в формулу для избыточной энергии электронов  $\delta\mathcal{E} \sim F(V) - 1/(I_e I_{e-ph})^{1/2} \cdot F(V)$  — функция приложенного напряжения) зависит от температуры как  $T^{-2}$ .

В главе VI изучаются релаксационные процессы, связанные с рассеянием носителей на поверхности. Представлены спектроскопия взаимодействия потока сильно неравновесных электронов с поверхностью, угловая и энергетическая зависимость коэффициента зеркальности.

Из положения первых двух линий ЭФ можно получить информацию о величине и характере потери части избыточной энергии в результате акта взаимодействия с поверхностью нормально падающих электронов. Невыполнение условия кратности магнитных полей, в которых должны наблюдаться пики ЭФ, и сдвиг второй линии в область меньших магнитных полей свидетельствует о потере части избыточной энергии электронов при взаимодействии с поверхностью.



На рис. 7 показан пример построения зависимостей соотношения  $\delta\mathcal{E}_2/\delta\mathcal{E}_1$  от  $\delta\mathcal{E}_1$  ( $\delta\mathcal{E}_1$  и  $\delta\mathcal{E}_2$  — соответственно избыточная энергия электронов до и после

Рис. 7. столкновения с поверхностью) в области изменения значений начальной избыточной энергии до  $\sim 50$  мэВ. Из графика видно, что уже при малых величинах  $\delta\mathcal{E}_1 \sim 3-4$  мэВ наблюдается резкое уменьшение значений избыточной энергии электронов в результате акта взаимодействия с поверхностью. Коэффициент зеркальности поверхностного отражения, найденный из отношения амплитуд второй и первой линии ЭФ, также убывает с ростом избыточной энергии электронов, однако это уменьшение не является столь резким и сильным,

как потеря энергии электронов. Наиболее вероятное объяснение такого поведения  $\delta\mathcal{E}_2/\delta\mathcal{E}_1$  и  $q$  является возбуждение поверхностных колебаний решетки, сопровождающее акт отражения электронов, нормально падающих на внешнюю границу кристалла. Эти колебания по-видимому представляют собой поперечную поверхностную волну.

Кроме этого, поведение избыточной энергии электронов после соударения с поверхностью  $\delta\mathcal{E}_2$  в функции начальной  $\delta\mathcal{E}_1$  характеризуется воспроизводимыми немонотонностями, которые соответствуют значениям энергии  $\sim 18$  и  $\sim 25$  мэВ. Следовательно, имеет место еще один релаксационный процесс, характеризующийся этими значениями энергии. Этот процесс скорее всего связан с возбуждением плазменных колебаний. Согласно [9] частоты возбуждения плазмонов в висмуте соответствуют следующим значениям энергии: при поляризации, перпендикулярной к  $C_3$  - 19.6 мэВ, при поляризации вдоль  $C_3$  - 23.2 мэВ. Энергии провалов на зависимостях  $\delta\mathcal{E}_2(\delta\mathcal{E}_1)$  близки к этим цифрам.

С помощью геометрической модели ЭФ проведен расчет угловой зависимости коэффициента зеркальности в геометрии эксперимента, при которой исключен вклад в  $U_c(H)$  междолинных процессов рассеяния. Для широкого интервала углов взаимодействия электронов проводимости с поверхностью получена зависимость  $q(\theta) = 1 - 2\alpha\hbar^{-1}p_r \sin\theta$ , предлагаемая теорией.

Основные результаты и выводы работы сформулированы в заключительном разделе диссертации.

1. Обнаружена линейная магнитополевая зависимость сопротивления приповерхностного слоя кристалла висмута в случае как зеркального, так и диффузного характера отражения электронов. Доказана низкая вероятность электрон-дырочных переходов на тригональной грани кристалла  $Bi$ . Изучен баллистический и диффузионный перенос заряда между двумя близко расположенными микроконтактами в геометрии ЭФ в сильных магнитных полях.

2. Для объяснения тонкой структуры линии электронной фокусировки рассмотрены модели магнитных поверхностных уровней, интерференции волновых функций электронов в эмиттере, коллекторе и на траектории, а также дифракции электронов в

микроконтакте. Показана возможность наблюдения в геометрии ЭФ интерференции электронов проводимости, инжектированных многоканальным микроконтактом; получены зависимости положения интерференционных максимумов от энергии электронов. Установлено, что явление дифракции электронов в микроконтакте наиболее успешно описывает наблюдающуюся тонкую структуру линии ЭФ и смещение пиков по шкале магнитных полей при изменении энергии электронов. Впервые доказана возможность проявления дифракции электронного потока, втекающего в кристалл через микроконтакт.

3. Изучено изменение интенсивности процессов электрон-фононной релаксации в области микроконтакта, связанных с испусканием фононов выделенных частот, при увеличении избыточной энергии инжектируемых электронов. Показана доминирующая роль процессов излучения оптических продольных фононов в висмуте в условиях сверхзвукового дрейфа электронов, проходящих через микроконтакт. Обнаружено существование ярко выраженного релаксационного процесса нефононной природы в условиях сильной неравновесности инжектируемых электронов, предположительно обусловленного возбуждением коллективной колебательной моды в электронной системе кристалла висмута.

4. Получена температурная зависимость длины электрон-фононной релаксации в микроконтакте. Показано, что величина избыточной энергии электронов, приобретаемая в микроконтакте, определяется не только приложенным к нему напряжением, а также температурой контакта и условиями теплоотвода в нем.

5. Исследован характер сброса избыточной энергии электронов при столкновении с поверхностью. Показано, что неупругие процессы рассеяния электронов начинаются с самых малых значений избыточной энергии и связаны с возбуждением поверхностных поперечных волн. Обнаружен дополнительный релаксационный процесс, связанный с возбуждением плазмонных колебаний. Выделена угловая зависимость коэффициента зеркальности для электронов, отражающихся от поверхности при внутридолинных процессах рассеяния.

Основные результаты диссертации изложены в работах:

1. В.В. Андриевский, С.В. Рожок. Угловая зависимость коэффициента зеркальности при внутридолинных процессах рассеяния

- электронов на поверхности висмута // ФНТ, 1992, Т.18, N 3, С.293-295.
2. В.В.Андриевский, Ю.Ф.Комник, С.В.Рожок. Исследование проводимости приповерхностного слоя кристалла висмута в условиях скинирования постоянного тока // ФНТ, 1993, Т.19, N 10, С.1117-1125.
  3. В.В.Андриевский, Е.И.Асс, С.В.Рожок. Влияние температуры на процессы релаксации сильно неравновесных носителей заряда в висмутовом микроконтакте // ФНТ, 1994, Т.20, N10, С.1057-1061.
  4. V.V.Andrievskii, Yu.F.Komnik, S.V.Rozhok. Investigation of heat transfer from current-carrying point contact to cryogenic liquid // Cryogenics 1994, Vol.34, P.393-396, ICEC 15 Supplement.
  5. V.V.Andrievskii, Yu.A.Kolesnichenko, S.V.Rozhok. Charge transfer between point contacts in high magnetic fields // Physica B 1995, Vol. 212, P.75-82.
  6. V.V.Andrievskii, Yu.F.Komnik, S.V.Rozhok. Surface scattering of conduction electrons in bismuth // Surface Science 1995, Vol. 331-333, P.1181-1185.
  7. V.V.Andrievskii, Yu.F.Komnik, S.V.Rozhok. Relaxation of highly nonequilibrium electrons in bismuth point contacts // Physica B 1996, Vol. 218, P.7-9.
  8. V.V.Andrievskii, Yu.F.Komnik, S.V.Rozhok. The fine structure of the first electron focusing line in bismuth // Physica B 1996, Vol. 218, P.10-13.

Цитированная литература:

1. В.С.Цой, ЖЭТФ 68, 1849 (1975).
2. В.Г.Песчанский, М.Я.Азбель, ЖЭТФ 55, 1980 (1968).
3. А.И.Копелиович, ЖЭТФ 78, 987 (1980).
4. М.С.Хайкин ЖЭТФ 55, 1696 (1968).
5. В.С.Цой, Письма в ЖЭТФ 25, 289 (1977).
6. В.В.Андриевский, Е.И.Асс, Ю.Ф.Комник, Письма в ЖЭТФ 47, 103 (1988).
7. Б.А.Котов, Н.М.Окунева, Э.Л.Плаченова, ФТТ 11, 2003 (1969).
8. W.S.Boyle, K.F.Rodgers, Phys. Rev. Lett. 2, 338 (1959).
9. В.С.Эдельман, УФН 123, 257 (1977).

889.00.9A

Rozhok S.V. Interference and relaxation phenomena in transport of conduction electrons injected into a bismuth crystal through a point contact.

The thesis for taking a Candidate's degree of science (physics and mathematics) speciality 01.04.07. - physics of solids, B.I.Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering, NAS, Kharkov, Ukraine, 1996.

The thesis is devoted to investigation of relaxation and interference phenomena in point contacts. The main attention is given to the elucidation of the dependence of the above phenomena on the degree of electron system non-equilibrium. The research work pioneers in investigating the dynamics of static skin-layer generation in bulk crystal and the diffraction and interference of conduction electrons in a point contact and along the ballistic trajectory. The energy relaxation of conduction electrons moving in a current-carrying point-contact area with supersonic velocity and under the interaction with surface is studied.

Key words: bismuth, point contact, conduction electrons, interference, diffraction, relaxation.

Рожок С.В. Інтерференційні та релаксаційні явища в транспорті електронів провідності, інжектованих у кристал вісмута за допомогою мікроконтакта.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за фахом 01.04.07 - фізика твердого тіла, Фізико-технічний інститут низьких температур ім.Б.І.Веркіна НАН України, Харків, 1996.

Дисертація присвячена вивченню релаксаційних та інтерференційних явищ в мікроконтактах. Головна увага приділяється вивченню залежності вказаних явищ від ступеня нерівноважності електронної системи. В роботі вперше досліджено динаміку формування статичного скін-шару у масивних кристалах, дифракцію та інтерференцію електронів провідності у мікроконтакті та на балістичній траєкторії. Досліджена енергетична релаксація електронів провідності у мікроконтакті із струмом в умовах надзвукового дрейфу носіїв заряду та при взаємодії з поверхнею.

Ключові слова: вісмут, мікроконтакт, електрони провідності, інтерференція, дифракція, релаксація.

430180

Ав 35.288

---

Ответственный за выпуск - канд. физ.-мат. наук Шевченко О. Г.

---

Подписано к печати 11.06.1996 г.,  
физ. п. л. 1, учет. изд. л. 1, заказ №16, тираж 100 экз.

---

Ротапринт ФТИНТ НАН Украины, 310164, Харьков, пр. Ленина, 47