

Vladimir O. Sergeev,
post-graduate;
State University - Education-Science-Production Complex

Fedor V. Kharlamov,
ScD, researcher;
State University - Education-Science-Production Complex

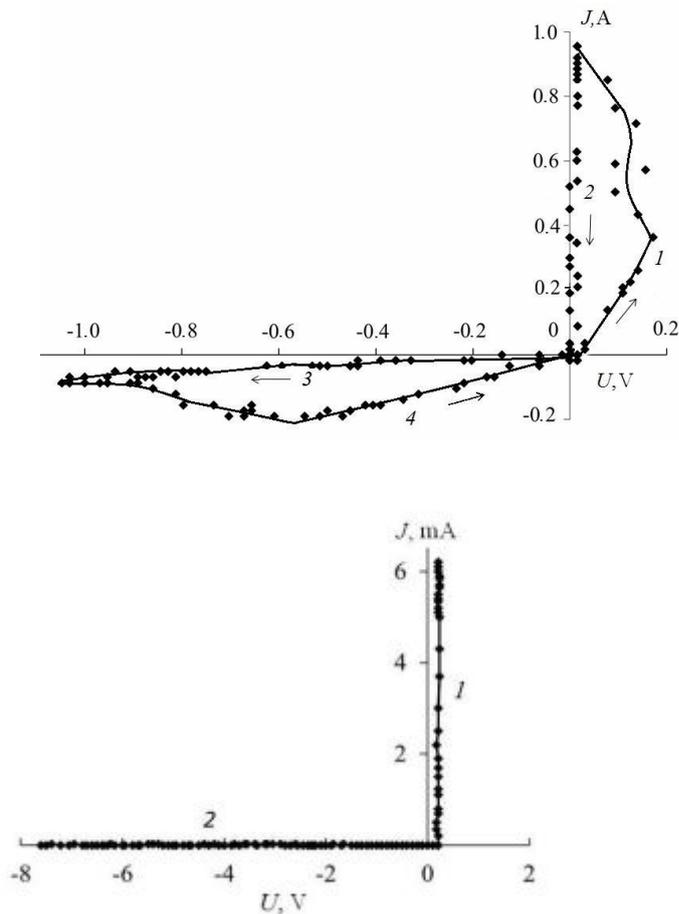
Vladimir F. Kharlamov,
ScD, professor
State University - Education-Science-Production Complex

Conductivity of Nanostructured Materials, Saturated Hydrogen Atoms

Key words: nanoparticles, hydrogen atoms, conductivity, mechanism

Annotation: *The conduction mechanism of the material, consisting of a large number of spherical nanoparticles of aluminum oxide and (or) nickel saturated with hydrogen atoms, was investigated. Detected state of the material, wherein the voltage drop across the material layer is small and does not depend on the current therein.*

В опытах использовали ультрадисперсные порошки оксида алюминия и (или) никеля. Частицы порошка имели форму шара со средним диаметром 100 нм. Частицы никеля содержали на своей поверхности полупроводниковые оксидные слои NiO, толщиной 2 – 4 нм. Подложку - электрод с нанесенным слоем порошка помещали в вакуумную камеру, через которую непрерывно прокачивали спектрально чистый водород с давлением 13 Па. С помощью высокочастотного разряда в газе получали плазму водорода с концентрацией атомов H 10^{15} см⁻³ и выдерживали слой порошка в плазме до 1 ч при температуре 400 К. После выдержки слоя частиц в плазме водорода на него сверху помещали второй электрод. В среде водорода при давлении 5 Па измеряли вольтамперную характеристику (ВАХ) слоя частиц. Примеры ВАХ для материалов, состоящих из частиц никеля (слева) и оксида алюминия (справа):



Волновая функция электрона в периодическом поле цепочки частиц представляет собой модулированную плоскую волну (функцию Блоха). Когда в цепочке возникает электрический ток, выполняется равенство $i_g = i'_g$, где i_g и i'_g - потоки электронов, входящих в частицу с номером g и выходящих из нее благодаря туннельному эффекту. Если электроны частицы ускоряются электрическим полем, тогда увеличение энергии электронов ε приводит к увеличению вероятности D туннельных переходов между частицами:

$$D \approx \exp \left\{ \frac{-2l[2m_0(W - \varepsilon)]^{1/2}}{\hbar} \right\} \quad (1)$$

Пусть при этом у частицы появился положительный электрический заряд, численно равный заряду электрона. Потенциальная энергия ее электронов W изменяется на величину $\Delta W = e^2 / c = e^2 / (2\pi\varepsilon_0 d)$, где e - заряд электрона; c - электрическая емкость частицы; d - диаметр частицы. Используя, например, значение $d = 30$ нм, получаем оценку: $\Delta W \approx 0.1$ эВ. Увеличение потенциальной энергии W электронов приводит к уменьшению вероятности туннельных переходов (1). То есть изменение энергии электронов ε под действием электрического поля сопровождается подавлением этих изменений вследствие отрицательной обратной связи,

обусловленной действием кулоновских сил. При этом максвелловское «рассасывание» зарядов с временем релаксации, равным характерному времени туннелирования, обеспечивает выполнение условия динамического равновесия $i_g = i_g'$. Следовательно, движение электронов вдоль цепочки испытывает корреляции, обусловленные небольшой электрической емкостью частиц и действием кулоновских сил. Благодаря названным условиям, при протекании электрического тока движение электронов вдоль цепочки частиц – изоэнергетическое, энергии электронов в ядрах всех частиц (потенциальных ямах) одинаковы. То есть ускорение электронов электрическим полем не происходит. Поэтому отсутствует рассеяние электронов и электрическое сопротивление цепочки крайне мало. Разность потенциалов точек частиц цепочки, отстоящих на расстоянии gd , равна нулю. При этом поток электронов вдоль цепочки (электрический ток) обусловлен падением напряжения на контактах электродов с крайними частицами цепочки.

При помещении слоя насыщенных атомами водорода наночастиц оксида алюминия и (или) никеля в электрическое поле в объеме каждой частицы Al_2O_3 или в оксидных поверхностных пленках NiO возникает неравномерное распределение ионов H^+ . Из-за контактной разности потенциалов проводимость точечных контактов между частицами зависит от направления движения носителей тока – электронов. В одном направлении («прямом») электрическое поле контакта стимулирует переход электронов через контакт между частицами. Рассеяние электронных волн (функций Блоха) не происходит или маловероятно. Поэтому дифференциальное сопротивление материала в его проводящем состоянии равно нулю, закон Ома не выполняется. В другом направлении («запорном») электрическое поле контакта между частицами препятствует переходу электронов из одной частицы в другую частицу. Из-за низкой вероятности прохождения электронами контакта между частицами волновые функции электронов материала соответствуют связанным в объеме частиц состояниям. Материал не проводит электрический ток.

Таким образом, обоснован механизм высокой проводимости материала. Он обусловлен корреляциями в туннельных переходах электронов в периодическом поле вследствие максвелловской релаксации зарядов наночастиц.