

Высокорезистивные металлические сплавы

Прекул А.Ф., Щеголихина Н.И., Кузьмин Н.Ю., Номерованная Л.В.



Особенности электронной структуры металлических систем, обладающих дальним аперриодическим порядком – актуальная проблема современной физики конденсированного состояния. Электрическими, оптическими, магнитными и гальваномагнитными экспериментами исследуется гипотеза наличия в окрестности уровня Ферми икосаэдрических квазикристаллов бестоковых состояний.

Высокорезистивные металлические сплавы, остаточное сопротивление которых превышает критерий Иоффе-Регеля, привлекают внимание исследователей в течение нескольких последних десятилетий. За это время класс этих материалов значительно расширился за счет икосаэдрических (i-) фаз в сплавах алюминия с переходными металлами. Повышенный интерес к этим материалам продиктован реализацией и возможностью изучения в них состояний промежуточного типа, которые не укладываются в традиционную классификацию электронных типов твердых тел. В пределе низких температур, i-фазы имеют конечную металлоподобную проводимость; при конечных температурах, нередко вплоть до температуры плавления, i-фазы имеют «полупроводниковоподобную» проводимость (отрицательный ТКС). Количественное соотношение этих компонент можно менять в широких пределах. Известный в настоящее время диапазон этих изменений по величине остаточной проводимости простирается от 5000 до $10 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ и, по концентрации металлоподобных носителей, от 10^{22} до 10^{19} см^{-3} , соответственно.

До последнего времени нами исследовалась гипотеза расслоения валентных электронов сплавляемых металлов. Предполагалось, что в i-фазах только часть валентных электронов являются свободными и участвуют в проводимости при $T=0\text{К}$, другая их часть по неизвестным причинам участвует в проводимости только при конечных температурах. С экспериментальной точки зрения задача состояла в определении основных параметров носителей заряда того и другого типов. Для этого изучались электрические,

оптические, магнитные и гальваномагнитные свойства i-фаз в зависимости от температуры, магнитного поля, химического и атомного состава, структуры и условий синтеза.

Были получены следующие основные результаты:

1) Установлено, что для проводимости хорошо упорядоченных икосаэдрических фаз характерным является наличие аддитивных вкладов – температурно-независящего и температурно-зависящего, в виде

$$\sigma(T) = \sigma_0 + \sigma_t \quad (1)$$

Показано, что компонента σ_t может быть описана не только степенными, но и экспоненциальными функциями при непрременном условии автономного рассмотрения этой компоненты.

2) Структура формулы (1) характерна не только для проводимости, но и для магнитной восприимчивости, т.е.

$$\chi(T) = \chi_0 + \chi_t$$

Температурно-зависящие компоненты σ_t и χ_t являются хорошо скоординированными, практически конгруэнтными (рис.1).

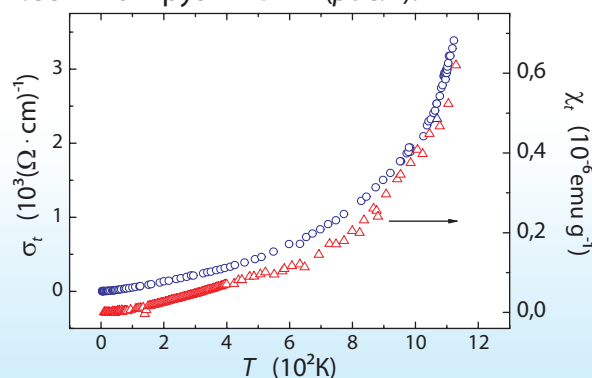


Рис.1

Температурная зависимость $\sigma(T)$ и $\chi(T)$ икосаэдрического квазикристалла Al-Cu-Fe

3) для оптических спектров хорошо упорядоченных и неупорядоченных *i*-фаз характерным является отсутствие друдевского пика и наличие мощного межполосного поглощения во всей ИК-области спектра (рис.2).

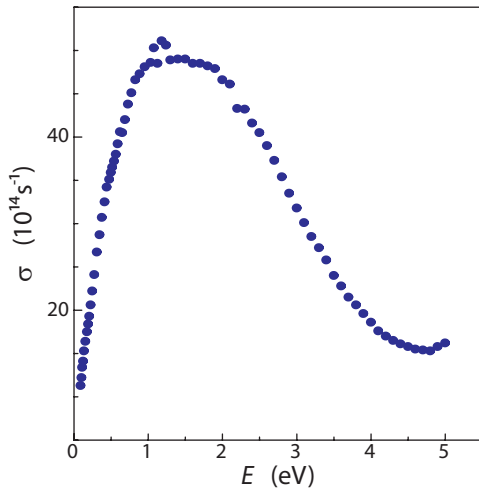


Рис.2

Оптическая проводимость икосаэдрического квазикристалла Al-Cu-Fe

4) установлено, что *i*-фазы Al-Cu-Fe являются системами с непостоянным числом носителей заряда. В общем случае

$$n(T) = n_0 + n_t.$$

Температурно-зависящая компонента числа носителей n_t является самой сильной функцией температуры в системе. При температурах ниже комнатной ее зависимость близка к T^3 , тогда как зависимости σ_t и χ_t близки к $T^{3/2}$ и T^2 , соответственно (рис.3).

5) из анализа соотношений между различными свойствами установлено, что $\sigma_t/n_t \propto T^{3/2}$, $\chi_t/n_t \propto T^{-1}$.

Соотношение $\sigma_t/n_t \propto T^{3/2}$ означает, что появление термически индуцированных носителей сопровождается решеточными возбуждениями. Соотношение $\chi_t/n_t \propto T^{-1}$ (закон Кюри) означает, что термически индуцированные носители ведут себя классически и, следовательно, находятся в слое $k_B T$. В исследуемых материалах при концентрации металлоподобных носителей, большей 10^{20} , это возможно в случае, если в электронной структуре *i*-фаз в окрестности уровня Ферми наряду с токонесущими состояниями непрерывного спектра имеются бестоковые состояния.

Доказательство существования бестоковых состояний открывает новые возможности для развития эксперимента с включением термодинамических параметров и расширением диапазона исследований вплоть до температуры плавления *i*-фаз. Предполагается, что на этом пути удастся понять природу бестоковых состояний.

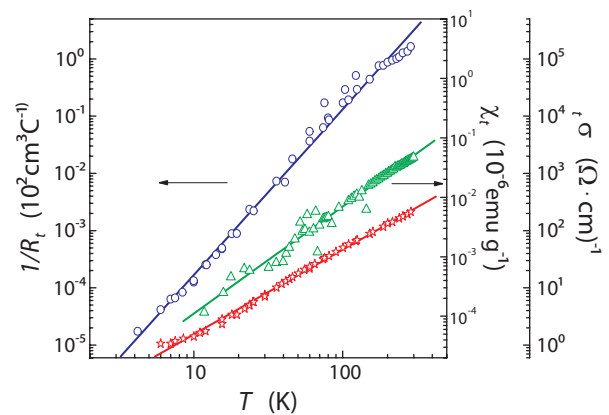


Рис.3

Температурно-зависящие вклады σ_t (\star), χ_t (Δ) и $n_t \propto 1/R_t$ (\circ)

Результаты экспериментов отражены в публикациях [1-5].

¹ А.Ф.Прекул, Л.В.Номерованная, А.Б.Рольщиков, Н.И.Щеголихина, С.В.Ярцев ФММ, 1996, 82, вып.5, с75-82.

² A.F.Prekul, N.Yu.Kuzmin, N.I.Shchegolikhina Materials Science and Engineering: 2000, 294-296, p527-530

³ А.Ф.Прекул, Н.Ю.Кузьмин, Н.И.Щеголихина ФММ, 2003, 96, вып.2, с45-55.

⁴ A.F.Prekul, N.Yu.Kuzmin, N.I.Shchegolikhina 9th International conference on quasicrystals, 2005, USA, Abstract Book, , p.112

⁵ A.F.Prekul, N.Yu.Kuzmin, N.I.Shchegolikhina International conference Aperiodic-2006, 2006, Japan, Abstract Book, p.66.