

УДК 538.945

О.А.Мартынова (6 курс, каф. ФППиНЭ), В.Э.Гасумянц, д.ф.-м.н., проф.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТА ХОЛЛА В ВТСП-МАТЕРИАЛАХ И МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТИННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА

Целью данной работы являлась разработка и применение метода количественного анализа коэффициента Холла, основанного на анализе электронных явлений переноса в ВТСП-материалах в рамках модели узкой зоны [1]. Известно, что температурные зависимости коэффициента Холла, $R_H(T)$, в ВТСП-материалах, как и в случае трех других кинетических коэффициентов (удельное сопротивление, коэффициенты термоэдс и Нернста-Эттингсгаузена) обладают рядом специфических особенностей [2]. Моделей, адекватно описывающих эти особенности, на данный момент не существует. Кроме того, в литературе неоднократно указывалось на несоответствие холловской, n_H , и истинной, n , концентраций носителей заряда в ВТСП. Проведенный анализ показал, что модель узкой зоны позволяет качественно описать характер температурных зависимостей коэффициента Холла [1], однако их количественный анализ ранее не проводился. В то же время, очевидно, что измеряемое значение коэффициента Холла несет информацию об истинной концентрации носителей заряда, хотя точное определение ее значения возможно только при наличии данных о структуре зонного спектра (или, как минимум, при использовании той или иной модели зонного спектра). Таким образом, включение в количественный анализ в рамках единой модели зонного спектра данных о температурных зависимостях коэффициента Холла в ВТСП-материалах (совместно с другими кинетическими коэффициентами) позволит получить более детальную информацию о свойствах системы носителей заряда, в том числе, определить значение истинной концентрации носителей заряда.

Был проведен расчет температурной зависимости коэффициента Холла в рамках аппроксимации функций плотности состояний, дифференциальной и холловской проводимости, предложенной ранее для анализа коэффициента Нернста-Эттингсгаузена [3]. В результате было получено аналитическое выражение, описывающее зависимости $R_H(T)$ в материалах, для которых характерно наличие узкой проводящей зоны:

$$R_H = \frac{A_R}{e \cdot N} \cdot B(T), \quad (1)$$

где

$$N = p \cdot (1 - F), \quad (2)$$

A_R – Холл-фактор, полученный в рамках модели узкой зоны и аналогичный (с точностью до весового множителя) классическому Холл-фактору; e – заряд электрона; F – степень заполнения зоны электронами; p – концентрация дырок; $B(T)$ – коэффициент, зависящий от конкретных значений параметров зонного спектра и системы носителей заряда в рамках модели узкой зоны и определяющий температурную зависимость коэффициента Холла; N – полное число состояний в проводящей зоне.

Значения узкозонного Холл-фактора были проанализированы при различных механизмах рассеяния. Было показано, что, как и в классическом случае широкой зоны, $A_R \approx 1$. Это позволяет использовать полученное выражение (1) для количественного анализа экспериментальных данных. Необходимо отметить, что расчетные зависимости $R_H(T)$ полностью определяются значениями модельных параметров, полученными из анализа температурных зависимостей коэффициентов термоэдс и Нернста-Эттингсгаузена, для тех

же образцов [3], и качественно совпадают с экспериментальными кривыми $R_H(T)$, что подтверждает правомерность предложенного метода.

Разработанный метод был применен для количественного анализа зависимостей $R_H(T)$ для системы $YBa_2Cu_3O_y$ ($y=6.91-6.48$). Как следует из выражения (1), абсолютное значение R_H при заданных значениях модельных параметров полностью определяется числом состояний в зоне, что позволяет на основании количественного сравнения экспериментальных и расчетных зависимостей определить значения N (см. табл. 1).

Таблица 1. Холловская концентрация носителей заряда и параметры, определенные из анализа $R_H(T)$.

y	$n_H \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ (при $T=300\text{K}$)	$N \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$	$N_c \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$	$D \cdot 10^{21} \text{ эВ}^{-1}$
6.91	11.72	3.50	1.78	4.38
6.82	4.29	3.08	1.64	3.08
6.72	2.38	2.98	1.63	2.22
6.65	1.92	2.88	1.59	1.80
6.61	1.53	2	1.17	1.04
6.48	0.70	1.85	1.15	0.62

На основании рассчитанных значений N по формуле (2) была определена истинная концентрация носителей заряда в $YBa_2Cu_3O_y$, а также проведен анализ динамики ее изменения при отклонении от стехиометрии (табл. 1). Для сравнения в табл. 1 также приведены значения холловской концентрации при $T=300\text{K}$ для всех исследованных образцов, которые были вычислены по классической формуле $n_H=1/(eR_H)$. Видно, что истинная концентрация сильно (на 1-2 порядка) отличается от холловской, что связано с узостью проводящей зоны, приводящей к неправомерности применения классической теории для расчета концентрации. Для правильной интерпретации холловских данных необходим учет множителя B (см. выражение (1)), значение которого очень мало и является определяющим при расчете истинной концентрации носителей заряда.

С понижением содержания кислорода в образцах (от 6.91 до 6.48) истинная концентрация уменьшается в 1.5 раза, в то время как холловская концентрация при таком же изменении кислорода уменьшается на 2 порядка, при этом отличие между n и n_H уменьшается, что связано с ростом ширины проводящей зоны, W_D (от 80 до 295 мэВ). Обнаруженное слабое изменение истинной концентрации носителей заряда совпадает с предположениями, высказывавшимися в целом ряде работ, посвященных анализу как кинетических, так и оптических свойств ВТСП-материалов.

На основании полученных результатов была проведена оценка значения функции плотности состояний на уровне Ферми, $D(\epsilon_F)$. В рамках используемой аппроксимации $D(\epsilon_F)=N/W_D$. Полученные значения также приведены в табл. 1. Видно, что значение функции плотности состояний на уровне Ферми резко уменьшается с ростом дефицита кислорода, что коррелирует с наблюдаемым падением значения критической температуры и является, скорее всего, причиной подавления сверхпроводящих свойств с ростом кислородного дефицита.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 02-02-16841-а), Министерства образования РФ (грант Е02-3.4-120), Правительства С.-Петербурга (грант М04-2.4Д-426) и Федерального агентства по образованию (программа «Развитие научного потенциала высшей школы», проект 4853).

ЛИТЕРАТУРА:

1. V.E. Gasumyants. In: *Advances in Condensed Matter and Materials Research*, Vol.1, ed. F. Gerard. Nova Science Publishers, New York, 2001, p.135.
2. N.P. Ong. In: *Physical Properties of High Temperature Superconductors II*, edited by D.M. Ginsberg. World Scientific, Singapore, 1990, p.459-507.
3. В.Э.Гасумянц Н.В.Агеев, М.В.Елизарова, ФТТ, 47 (2005), с. 196