

АНОМАЛИИ ТЕРМОЭДС И СОПРОТИВЛЕНИЯ СПЛАВОВ КАДМИЙ – МАГНИЙ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

С.В.Варюхин, В.С.Егоров

Измерены термоэдс и сопротивление сплавов кадмий – магний в области концентраций $0 < x < 20$ ат.% Mg при гелиевых температурах. Обнаружены характерные особенности при концентрациях 6 и 11 ат.% Mg. Обсуждается их связь с топологическими изменениями в поверхности Ферми кадмия в точках K и L зоны Бриллюэна.

Непосредственный интерес к изучению переходов $2^{1/2}$ рода ¹ в сплавах существенно повысился после появившейся недавно теоретической работы ², где были вычислены сопровождающие переход характерные особенности в электропроводности и термоэдс на примере сплавов литий – магний. В уже проведенных исследованиях ³ экспериментально действительно наблюдались такие аномалии при концентрации магния, соответствующей касанию поверхности Ферми границы зоны Бриллюэна. Однако при этом возникали определен-

ные трудности в количественной интерпретации наблюдаемых эффектов, обусловленные мартенситным переходом в этих сплавах.

В настоящей работе сделана попытка применить новый подход для изучения переходов $2^{1/2}$ рода в кадмии, где при увеличении концентрации изовалентной примеси магния решетка остается гексагональной при всех температурах, и роль изменяющегося параметра играет лишь изменение отношения c/a . С этой точки зрения сплавы кадмия с магнием представляют собой чрезвычайно интересный объект для изучения особенностей Лифшица при топологических превращениях, так как во-первых, у кадмия вблизи уровня Ферми расположено несколько особых точек, и, во-вторых, эти переходы могут происходить не только при дискретном (примеси), но и при плавном воздействии (температура, анизотропная нагрузка, давление), что дает возможность для проведения всесторонних исследований и сопоставления различных методов.

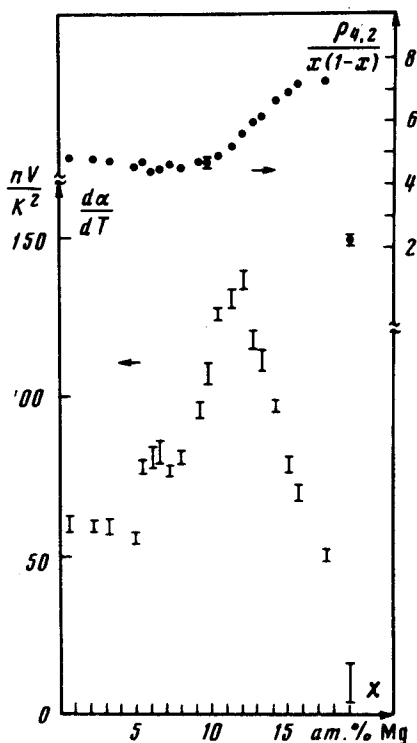
Сплавы $Cd_{1-x}Mg_x$ образуют при температуре $T > 250^\circ\text{C}$ непрерывный ряд твердых неупорядоченных растворов во всем интервале концентраций ⁴. При более низких температурах в области концентраций $0,2 < x < 0,8$ возникают упорядоченные структуры Cd_3Mg , $CdMg$, $CdMg_3$, что и проявляется в поведении кинетических коэффициентов, измеренных при комнатных температурах ⁵. При концентрациях $x < 0,2$ уже не возникает, по-видимому, упорядочения структуры, и возможно наблюдение аномалий, обусловленных лишь переходами $2^{1/2}$ рода. Именно в этом интервале концентраций магния $x \lesssim 0,2$ происходит значительное изменение отношения c/a ^{6, 7}, а именно, от 1,89 при $x = 0$ до 1,74 при $x = 0,2$. Изменение c/a определяет ряд топологических изменений поверхности Ферми кадмия: образование перемычек в "монстре" и возникновение электронных полостей около точек K , — "иглы", и L — "бабочки". Этому вопросу посвящено довольно много работ, как экспериментальных, так и теоретических ⁸. Тем не менее экспериментально отчетливо наблюдаются лишь аномалия магнитной восприимчивости ⁹, притом только в направлении продольном относительно гексагональной оси кристалла — χ_{\parallel} .

В настоящей работе измерялись сопротивление и термоэдс сплавов $Cd_{1-x}Mg_x$ при $0 < x < 0,2$, т. е. таких концентрациях, при которых все сплавы находятся в состоянии разупорядоченного твердого раствора. Сплавление компонентов осуществлялось в индукционной печи в графитовом тигле в атмосфере испаряющегося гелия. Образцы для измерений получались всасыванием из расплава в графитовый капилляр и имели характерные размеры $0,6 \times 1 \times 25 \text{ мм}^3$. Исходные материалы имели отношение сопротивлений $R_{300}/R_{4,2} \approx 4000$ для Cd и ≈ 300 для Mg. Концентрация x определялась по навескам Mg и Cd перед сплавлением. Термоэдс измерялась дифференциальным способом относительно сверхпроводящего Nb_3Sn в интервале температур $2 < T < 14\text{K}$ с коммутацией потока тепла подобно тому, как это делалось ранее ³.

Результаты измерений представлены на рисунке. Нижняя кривая — концентрационная зависимость коэффициента при линейной части зависимости термоэдс от температуры — $\alpha(T)$, — шкала слева. Верхняя кривая — концентрационная зависимость остаточного сопротивления, приведенного в масштабе $\rho_{4,2}/x(1-x)$, как и в ²; здесь $\rho_{4,2} = R_{4,2}/R_{300} - R_{4,2}$. Видно, что при концентрации $x \approx 11\%$ в зависимости $\alpha'_T(x)$ наблюдается значительный максимум, который коррелирует с изломом в зависимости $\rho(x)$. Менее четкая особенность наблюдается при концентрации $x \approx 6\%$. Следует отметить существенное "выпадение" из обеих зависимостей точек при $x = 19,1\%$, что свидетельствует, по-видимому, о том, что при этой концентрации уже частично возникает упорядочение, соответствующее соединению Cd_3Mg .

Сравнение полученных результатов с измерениями восприимчивости на монокристаллических образцах ⁹ показывает, что наблюдаемая нами аномалия при $x \approx 6\%$ практически совпадает с максимумом χ_{\parallel} при $x \approx 6,5\%$, который авторами ⁹ связывается с переходом $2^{1/2}$ рода при образовании шести "игл" в точках K . Учитывая анализ расположения энергетических уровней в кадмии ⁸, естественно предположить, что более резкий пик термо-

эда при $x \approx 11\%$ соответствует переходу $2^{1/2}$ рода при образовании двенадцати электрон-ных полостей — "бабочек" — в точках L , тем более, что этот пик сопровождается заметным характерным изломом в сопротивлении в соответствии с теоретической кривой на рис. 2,а в 2 . В 9 в этой области концентраций, а именно, при $x \approx 10\%$ отмечается лишь излом в $\chi_{\parallel}(x)$, в то время как в $\chi_{\perp}(x)$ особенности не наблюдаются.



Зависимости сопротивления и термоэдса от концентрации магния. Верхняя кривая — масштаб справа — приведенное остаточное сопротивление $\rho_{4,2}/x(1-x)$, где $\rho_{4,2} = R_{4,2}/R_{300} - R_{4,2}$. Нижняя кривая — масштаб слева — коэффициент при линейной части температурной зависимости термоэдса α'_T

Таким образом следует прежде всего констатировать весьма нетривиальный, на наш взгляд, результат, заключающийся в том, что размытие поверхности Ферми в неупорядоченных сплавах настолько мало при низких температурах, что даже в металле с такой сложной поверхностью Ферми на поликристаллических образцах отдельно проявляются переходы $2^{1/2}$ рода очень близко расположенные по энергии и, соответственно по концентрации Mg. Это согласуется с тем, что размытие энергии Ферми определяется энергетическим временем релаксации, которое при гелиевых температурах становится гораздо больше времени релаксации по импульсу, определяющего остаточное сопротивление.

Сравнение полученных результатов с данными по восприимчивости показывает качественное согласие, хотя в обоих случаях электронные переходы проявляются неодинаково. В измерениях восприимчивости не проявляется самая сильная особенность при $x \approx 11\%$, связанная с образованием "бабочек". Наблюдаемые отличия в настоящее время трудно объяснить, однако, информация, полученная в измерениях термоэдса, поддается на наш взгляд более ясной теоретической интерпретации.

Литература

1. Лифшиц И.М. ЖЭТФ, 1960, 38, 1569.
2. Вакс В.Г., Трефилов А.В., Фомичев С.В. ЖЭТФ, 1981, 80, 1613.
3. Егоров Б.С., Федоров А.Н., ЖЭТФ, 1983, 85, 1647.
4. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. М.: Металлургиздат 1962, 1, 452.
5. Noguchi S. J. Phys. Soc. of Japan, 1961, 16, 1145.
6. Пирсон У. Кристаллохимия и физика металлов и сплавов. М.: Мир 1977, часть I, стр. 152.

7. *Свечкарев И.В., Солнышкин Д.Д.* Сб.: Физика низких температур. Вып. 18, Харьков, 1972, стр. 119. (ФТИНТ АН УССР).
8. *Гречнев Г.Е.* ФНТ, 1983, 9, 1060.
9. *Свечкарев И.В., Кузьмичева Л.Б., Полторацкий В.И.* ФНТ, 1977, 3, 663.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
18 апреля 1984 г.
