

Эффект Холла и термо-электродвижущая сила аморфных сплавов на основе Ti и Cu с добавлением магнитных металлов при высоких температурах

О.К.Кувандиков, Н.С.Хамраев, Ф.Исмаилова

СамГУ, г.Самарканд, Университетский бульвар 15, тел.(91) 532-97-83,

В настоящей статье проводились измерения эффекта Холла и термо-электродвижущей силы аморфных сплавов на основе Ti и Cu с добавлением магнитных металлов при высоких температурах.

Ключевые слова: коэффициент Холла, термо-электродвижущая сила, аморфный сплав, фазовое превращение, энергия Ферми.

Калит сўзлар: Холл коэффициенти, термо-электр юритувчи куч, аморф қотишма, фазовий ўтиш, Ферми энергиси.

Key words: Hall coefficient, thermo-power, amorphous alloy, phase transition, Fermi energy.

Экспериментальное исследование коэффициента Холла и термо-электродвижущей силы аморфных металлов и их сплавов в зависимости от температуры и состава может дать ценные информации об их электронной структуре и механизмов проводимости [1]. Особенно если исследование проводится на одном и том же сплаве одновременно и в аморфном состоянии и в кристаллическом состоянии. В данной работе проводились измерения коэффициента Холла и термо-электродвижущей силы сплавов на основе Ti и Cu, с добавлением ферромагнитных металлов Ni, Fe и Co в широком интервале температур 77 -1000 К. Для измерения коэффициента Холла использовали метод переменного тока и переменного магнитного поля разных частот. Измерения термо-э.д.с. проводились дифференциальным методом. Аморфное состояние сплавов были получены методом быстрой закалки расплава из жидкого состояния.[2]

Результаты экспериментальных измерений температурных зависимостей коэффициента Холла сплавов приведены на рис.1. Исследованных нами образцов по составу можно разделить на четыре группы: 1-сплавы, которые не содержат ферромагнитного Ni, (рис.1.а), 2 – сплавы содержащие Ni и с металлоидом Si, (рис.1.б), 3-сплавы содержащие Ni и с металлоидом P, (рис.1.в), и 4-сплавы с большим содержанием Ni, (рис.1.г). В каждой из этих групп имеются сплавы с и без содержанием металлоида. На рисунках с горизонтальными стрелками на кривых показаны направление изменения температуры. Как видно из рисунков при комнатной температуре

коэффициент Холла для аморфного сплава 50Ti50Cu имеет значение $14 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{Кл}$, для 50Ti45Cu5Ni имеет значение $13 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{Кл}$, а для двух аморфных сплавов, содержащих большие концентрации Ni коэффициент Холла имеет значение $11,8 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{Кл}$ и имеет значение $8,6 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{Кл}$ соответственно, т.е. с изменением концентрации Ni заметно меняется значение R_H . Но с изменением температуры коэффициент Холла тех аморфных сплавов, которые не содержат металлоид, фактически остаются без изменения (рис.1.а,б,в,г). С добавлением концентрации металлоида появляется зависимость R_H от температуры, причем с увеличением концентрации металлоида $R_H(T)$ становится заметнее.

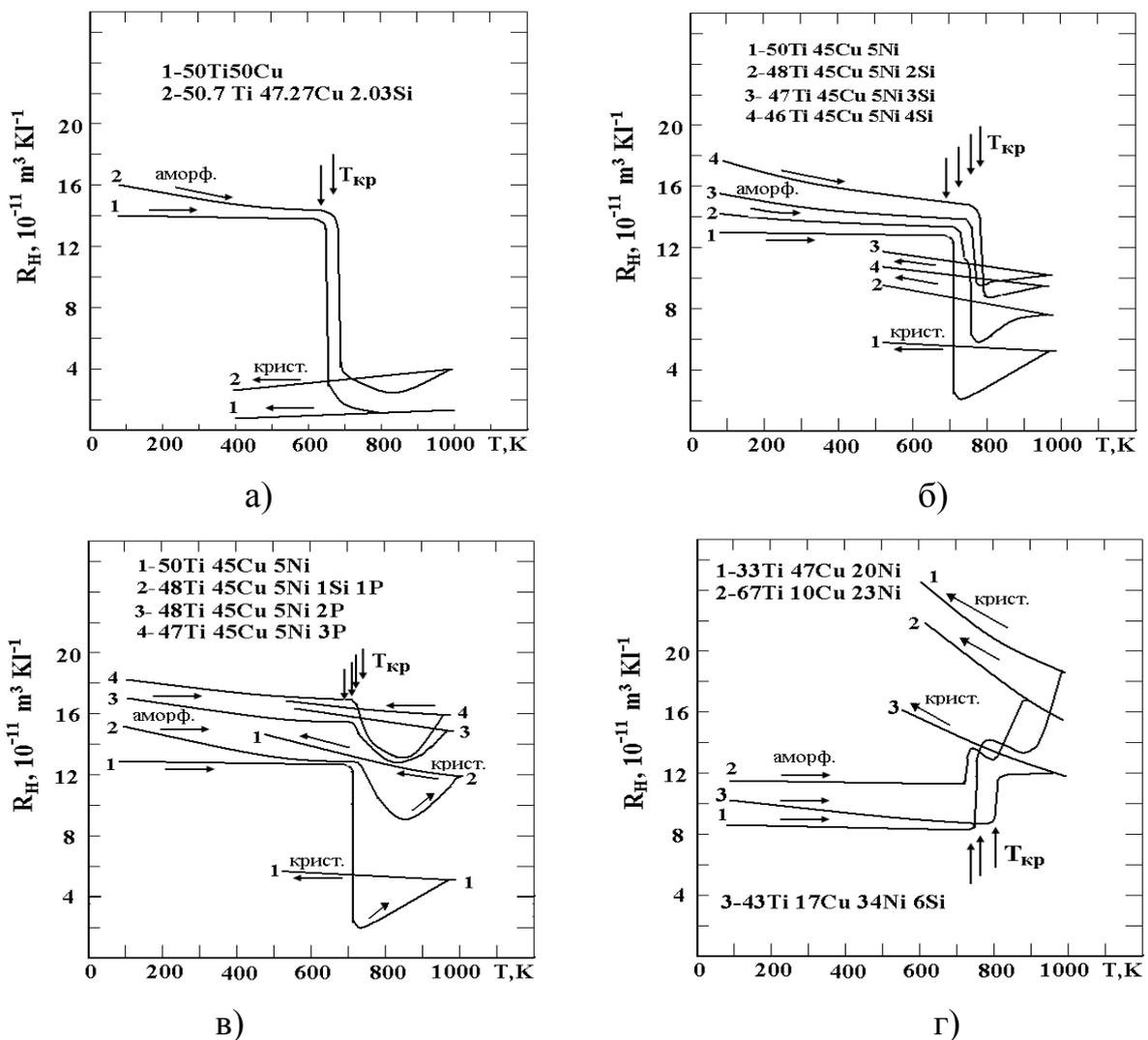


Рис.1. Температурные зависимости коэффициента Холла аморфных сплавов на основе металлов Ti и Cu, с добавлением магнитного металла Ni и металлоидов Si и P. На рис. б), в) в аморфных сплавах атомы Ti замещаются атомами металлоидов Si и P. Горизонтальными стрелками указаны направление изменения температуры, вертикальными стрелками указаны температура кристаллизации аморфных сплавов.

Для аморфного состояния с увеличением температуры при достижении температуры кристаллизации значение R_H всех исследованных сплавов изменяется скачкообразно. На графиках температура кристаллизации $T_{кр}$ указаны вертикальными стрелками. Анализ полученных $R_H(T)$ графиков показывает, что температура кристаллизации аморфных сплавов увеличивается с увеличением концентрации металлоида. В кристаллическом состоянии для всех исследованных сплавов, кроме четвертой группы, R_H меняется линейным образом. В кристаллическом состоянии, также как и в аморфном состоянии, добавление металлоида приведет к увеличению зависимости R_H от температуры. Для сплавов четвертой группы значение коэффициента Холла в кристаллическом состоянии почти три раза больше чем в аморфном состоянии и очень сильно зависит от температуры, что по нашему мнению, является следствием влияния намагниченности сплава, зависящего от концентрации магнитных металлов Ni, Fe и Co, на коэффициент Холя.

Объяснение температурной зависимости коэффициента Холла аморфных и кристаллических сплавов является одним из важных вопросов. В работе [3, 5] коротко проанализированы механизмы, которые способны привести к температурной зависимости R_H в аморфных сплавах. Эти механизмы: тепловое расширение образца, магнитные примеси, структурные флуктуации, структурная наведенная анизотропия и наконец, для объяснения температурной зависимости R_H может быть привлечена двухзонная модель. Тепловое расширение образцов может придать значение температурного коэффициента Холла много меньше и противоположное по знаку, наблюдаемому в результатах эксперимента. Остальные механизмы кроме модели двух зон в немагнитных аморфных сплавах также приводят к незначительной температурной зависимости. Кроме этих механизмов, температурная зависимость R_H может быть следствием активации носителей тока и прыжкового механизма проводимости [4], если уровень Ферми находится вблизи края подвижности для d – подобных электронов, зависимости от температуры $s - d$ гибридизации и вероятности межзонных переходов, различия в температурных зависимостях подвижностей разных групп электронов проводимости.

Результаты экспериментальных измерений термо-электродвижущей силы сплавов приведены на рис.2. Как видно из рисунка для сплава 50Ti 50Cu при комнатной температуре термо-э.д.с. имеет величину $S=1.9$ мкВ/К, во всем аморфном состоянии имеет положительный знак и увеличивается линейно с увеличением температуры. При низких температурах, около 210 К наблюдается отклонение $S(T)$ от линейности. При высоких температурах, при достижении температуры $T=655$ К, называемой температурой кристаллизации, значение термо-э.д.с. увеличивается скачкообразно почти шесть раз по сравнению равновесного состояния. При критической температуре ($T=T_{кр}$)

начинается переход сплава из аморфного состояния в кристаллическое. По графику можно судить, что процесс кристаллизации длится до температуры 800 К. В кристаллическом состоянии температурная зависимость $S(T)$ имеет нелинейный характер. Температурная зависимость $S(T)$ для остальных сплавов, содержащих магнитных металлов Ni, Fe и Co в аморфном состоянии имеет аналогичный характер. Добавление этих элементов в состав сплава приводит к увеличению температуры кристаллизации, а также изменению величины S при фазовом переходе. Более того, изменяется характер и температурный интервал фазового перехода с увеличением концентрации этих элементов. Можно сказать, что наблюдаемый фазовый переход является кинетическим фазовым переходом нового типа и более детальное его изучение может дать ценные информации об электронных свойствах конденсированного состояния металлических сплавов и изменении этих характеристик при упорядочении.

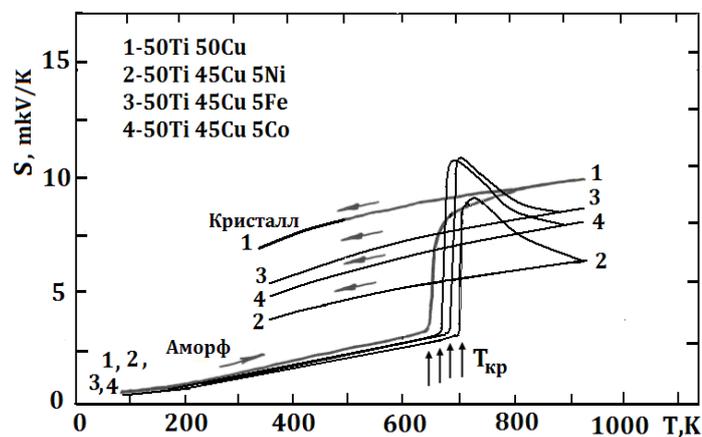


Рис.2. Температурные зависимости термо-э.д.с. аморфных сплавов на основе металлов Ti и Cu, с добавлением магнитных металлов Ni, Fe и Co. Горизонтальными стрелками указаны направление изменения температуры, вертикальными стрелками указаны температура кристаллизации аморфных сплавов.

Объяснение температурной зависимости термо-э.д.с. изученных аморфных сплавов, как и электросопротивление [3,5,7], может быть описана с помощью модели Мотта

$$S = -\frac{\pi^2}{3} \frac{k_B^2 T}{|e| E_F} \zeta \quad (1) \quad \text{где} \quad \zeta = \frac{1}{2} + \left(\frac{\partial \ln N_d(E)}{\partial \ln E} \right) \Big|_{E=E_F}$$

Здесь $\sigma(E)$ – удельная электропроводность, E_F – энергия Ферми, e – заряд электрона, k_B – постоянная Больцмана, N_d -плотность состояний. Для аморфных сплавов можно считать, что фононное увлечение не играет решающую роль [6]. Так, если считать, что величина ξ имеет очень слабую температурную зависимость, то по формуле (1) термо-э.д.с. является пропорциональным температуре. Наши экспериментальные

результаты для аморфных состояний находятся в согласии с выводами данной теории. Отклонение от линейности $S(T)$ при фазовом переходе с помощью существующих теорий не удается. Здесь, вероятно, нужно учесть изменения параметров управления, которые происходит в диссипативных структурах при необратимых процессах [8].

Литература.

1. Кувандиков О.К. Магнитные и кинетические свойства конденсированных сплавов на основе переходных и редкоземельных металлов. Ташкент. Изд. Фан. 2009, 292 с.
2. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. М. Металлургия, 1982 с. 167
3. Коут П., Майзел Л. Электронные явления переноса в стеклообразных металлах. – В кн.: Металлические стекла. Пер.с англ. под. ред. Алексеева В.А. и Максимова Е.Г., М. Мир, 1983 с. 208 – 244.
4. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М. Мир, 1982
5. Кувандиков О.К., Грановский А.В., Хамраев Н.С. Эффект Холла в аморфных и кристаллических сплавах переходных металлов. ФММ, т.63, вып.2, 1987.
6. Gallagher B.L., Kaiser A.B., Greig D. The thermopowers of amorphous transition metal alloys and electron phonon enhancement. Journal of non-crystalline solids. 1984, v.61/62 p.1231-1236
7. Кувандиков О.К., Хамраев Н.С., Ражабов Р.М. Особенности поведения электросопротивления сплавов на основе Ti и Cu в аморфном и кристаллическом состояниях. В кн.: Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Ташкент, 2013, 14-15 ноябрь, стр. 164-166.
8. И. Пригожин, И. Стенгерс. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М. УРСС. 2003.