

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ

Ф.Ф. МЕНДЕ

*НИИ Криогенного приборостроения,
Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины*

ЭЛЕКТРОПОЛЕВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Существует большое количество диагностических методов исследования свойств материалов и образцов. Но от взгляда исследователей пока ускользнул очень перспективный метод, основанный на исследовании электростатического потенциала таких образцов. Этот метод и рассмотрен в данной статье.

F.F. MENDE

*Research institute for cryogenic instrument engineering,
B.I. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering, NAS Ukraine*

ELECTROFIELD SPECTROSCOPY

There is a considerable quantity of diagnostic methods of research of properties of materials and samples. But the sight of researchers while was escaped by very perspective method based on research of electrostatic potential of such samples. This method also is considered in given article.

Ключевые слова: химический потенциал, диагностика, фазовый переход, дислокация.
Key words: chemical potential, diagnostics, phase transition, disposition.

Введение

Большинство существующих диагностических методов контроля свойств и характеристик материалов и образцов основана на применении тех или иных внешних воздействий, которые могут изменить свойства исследуемых объектов. Особый интерес представляют методы не разрушающего контроля, а также методы, применение которых не требует воздействия на сами образцы. Исследование свойств материалов и образцов в зависимости от их температуры, давления, воздействия различного рода облучений, механических напряжений и динамика этих процессов, кинетика фазовых переходов представляет большой интерес. В статье рассмотрен метод, основанный на измерении электростатического потенциала образцов, дающий возможность проводить такие ис-

следования простым способом [1,2]. Представленная работы была выполнена на протяжении 1992–1993 гг. в НИИ криогенного приборостроения при Физико-техническом институте низких температур НАНУ. Эта организация была закрыта в 1994 г.

Физические основы метода и экспериментальные результаты

В литературных источниках, в которых обсуждается вопрос о возможной зависимости заряда от скорости, утверждается, что зависимость величины заряда от этого параметра привела бы при нагревании проводников к увеличению их отрицательного потенциала.

Именно это утверждение постоянно приводится как аргумент того, что заряд не может зависеть от скорости. Если в какой-либо структуре сосуществует несколько термодинамических

подсистем, то их химические потенциалы должны быть равны.

В проводнике имеется две подсистемы: решетка и электронный газ. Электронный газ в проводниках при обычных температурах является вырожденным и подчиняется статистике Ферми–Дирака, его химический потенциал определяется от соотношения

$$\mu = W_F \left(1 - \frac{\pi^2 (kT)^2}{12W_F^2} \right), \quad (1)$$

где

$$W_F = \frac{h^2}{2m} \left(\frac{3n}{8\pi} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (2)$$

есть энергия Ферми; h – постоянная Планка; n и m – плотность электронов и их масса.

Из соотношений (1) и (2) видно, что химический потенциал электронного газа при понижении температуры увеличивается, достигая своего максимального значения при нулевой температуре. Он также зависит от плотности электронов.

В общем виде химический потенциал для какой-либо подсистемы может быть найден из следующих выражений

$$\mu = \left(\frac{\partial U}{\partial N} \right)_{S,V} = \left(\frac{\partial F}{\partial N} \right)_{T,V} = \left(\frac{\partial W}{\partial N} \right)_{S,P} = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial N} \right)_{T,P},$$

где N – число частиц; U , F , W , Φ – термодинамические потенциалы, представляющие собой внутреннюю энергию, свободную энергию, энтальпию и потенциал Гиббса соответственно.

Но, если мы найдем химический потенциал решетки, пользуясь одним из этих выражений, то увидим, что с понижением температуры этот потенциал уменьшается. Таким образом, получается, что химический потенциал электронов при понижении температуры растет, а у решетки уменьшается. Но как тогда добиться, чтобы они были равны? Выход заключается в том, что химический потенциал электронного газа зависит от плотности свободных электронов, и, чтобы этот потенциал при уменьшении температуры тоже уменьшался, должно при понижении температуры уменьшаться количество электронов. Это означает, что для сохранения электронейтральности при охлаждении проводника от него должен быть обеспечен отток электронов, а при нагревании обеспечен их приток. Если этого не сделать, то при нагревании на образце будет появляться положительный потенциал, а при охлаждении отрицательный. То есть, наоборот, по сравнению с

предположениями, высказываемыми по этому поводу.

Для экспериментального подтверждения такого поведения проводников следует подключить к исследуемому образцу электромметр с очень большим внутренним сопротивлением и начать образец охлаждать. При этом электромметр должен зарегистрировать появление на образце отрицательного потенциала. Особенно сильная зависимость будет наблюдаться при низких температурах, когда теплоемкость электронного газа и решетки одного порядка. Что же должно произойти при переходе образца в сверхпроводящее состояние? Во время перехода часть электронов начнет объединяться в куперовские пары и в районе энергии Ферми начнет образовываться энергетическая щель запрещенных состояний. Причем, для оставшихся нормальных электронов это тоже будет запретная зона, поэтому для них останутся разрешенными только места выше верхнего края щели. Это приведет к тому, что свободных мест для оставшихся электронов не будет хватать, поэтому, в случае отсутствия оттока электронов из образца, он приобретет отрицательный потенциал.

На рисунке 1 показана температурная зависимость электростатического потенциала образца, выполненного из ниобий-титанового сплава, при изменении его температуры в пределах 77...4,2 К.

Видно, что при уменьшении температуры отрицательный потенциал растет сначала достаточно медленно, но в области температуры перехода образца в сверхпроводящее состояние наблюдается резкое падение потенциала.

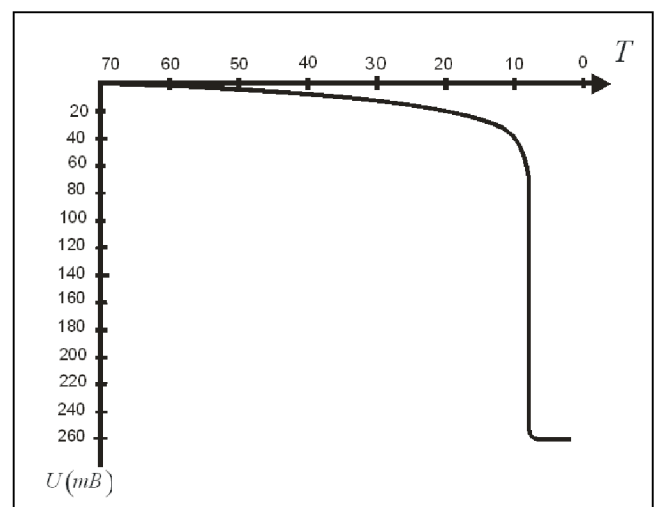


Рис. 1. Зависимость потенциала ниобий-титанового образца от температуры

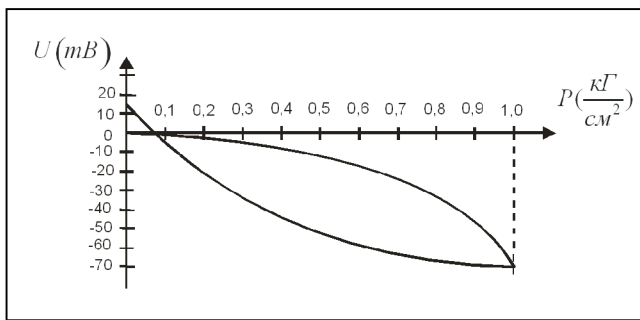


Рис. 2. Зависимость потенциала медной колбы от наружного давления

Исследование влияния механических напряжений и кинетики дислокаций на электростатический потенциал образцов проводилось по следующей методике. Для этого медная колба с толщиной стенок ~ 3 мм и объемом около пяти литров помещалась в вакуумную камеру, из которой мог откачиваться воздух. Внутренняя полость колбы при проведении экспериментов находилась под атмосферным давлением. Откачивая или напуская в вакуумную камеру воздух, можно было механически нагружать стенки колбы. Сама колба была отделена от вакуумной камеры втулкой из фторопласта и таким образом обеспечивалось высокое сопротивление относительно корпуса установки. Одна из типичных зависимостей представлена на рисунке 2. Видно, что амплитуда эффекта достигает 100 мВ, зависимость имеет сильный гистерезис, причем растяжению стенок колбы соответствует увеличение отрицательного потенциала. На рисунке обход по петле гистерезиса осуществлялся по часовой стрелке. Из полученных результатов следует, что механические напряжения образца

приводят к возникновению на нем электростатического потенциала. Наличие гистерезиса указывает на то, что образование дислокаций носит необратимый характер.

Заключение

В работе предложен новый перспективный метод исследования физических характеристик материалов и образцов, дающий возможность отслеживать различные кинетические процессы, а также кинетику фазовых переходов второго рода. Он перспективен для исследования металлов и полупроводников. При его помощи можно исследовать и фазовые переходы первого рода, связанные с плавлением и кристаллизацией указанных объектов. Он может быть использован также для исследования и диагностики плазмы этот метод особенно перспективен, поскольку является неразрушающим, а также не влияет на сам образец. Его следует считать пионерским, поскольку раньше этот метод известен не был.

Контактная информация:

E-mail: mende_fedor@mail.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менде Ф.Ф. Непротиворечивая электродинамика. Харьков: НТМТ, 2008, - 152 с.
2. Менде Ф.Ф. Новая электродинамика. Революция в современной физике. Харьков: НТМТ, 2012, - 176 с.

Статья поступила в редакцию 02.06.2012.