

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ ДИБОРИДА ГАФНИЯ

М. И. АЙВАЗОВ, С. В. АЛЕКСАНДРОВИЧ, В. А. БАШИЛОВ,
В. С. МКРТЧЯН

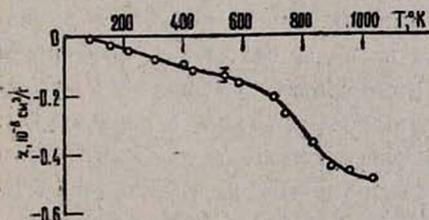
Проведены исследования температурной зависимости магнитной восприимчивости и эффекта Холла соединения HfB_2 . Температурный ход восприимчивости связывается с поведением вклада в восприимчивость электронов проводимости. Существенная зависимость магнитной восприимчивости электронного газа от температуры объясняется сравнительно низким значением энергии Ферми.

Соединения переходных металлов с бором обладают специфическими физическими свойствами, обусловленными характерными особенностями их электронного строения и кристаллической структуры. Температурная зависимость удельного электросопротивления диборидов переходных металлов указывает на металлический характер проводимости [1]. Из измерений коэффициента Холла при комнатной температуре был сделан вывод об электронном характере их электропроводности [2—4]; при этом число носителей составляет $0,06 \div 0,1$ электрона на элементарную ячейку. В работе [5] для объяснения физических свойств диборидов переходных металлов использовалась однозонная модель. В то же время в работе [6] гальваномагнитные свойства рассматривались на основе двухзонной модели.

В настоящей работе проведены исследования температурной зависимости магнитной восприимчивости и эффекта Холла диборида гафния с целью выяснения особенностей электронного энергетического спектра.

Магнитная восприимчивость была измерена методом Фарадея с помощью магнитных весов с электромагнитной компенсацией [7] в магнитном поле в 10 кэ в интервале температур $80 \div 1000^\circ\text{K}$. Эффект Холла измерялся в температурном интервале $77 \div 700^\circ\text{K}$. Постоянная Холла в температурном интервале $77 \div 700^\circ\text{K}$ отрицательна и не изменяется. Это указывает на возможность применения однозонной модели к объяснению физических свойств диборида гафния. Концентрация электронов проводимости, вычисленная на основе однозонной модели, составляет $n = 3,1 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$.

На рисунке приведена экспериментальная зависимость удельной магнитной восприимчивости от температуры. Во всем исследуемом интервале



Экспериментальная зависимость удельной магнитной восприимчивости от температуры.

температур диборид гафния диамагнитен и восприимчивость его монотонно убывает. В работе [8] магнитная восприимчивость HfB_2 была измерена в

интервале температур от 100 до 300°K. Было найдено, что в этом интервале температур он слабо парамагнитен, восприимчивость его уменьшается и в районе 300°K оказывается близкой к нулю. Характер температурной зависимости восприимчивости в настоящей работе и в работе [8] одинаков. Количественное несовпадение величин связано, по-видимому, с влиянием отклонения состава от стехиометрии по бору. В частности, в работе [9] было показано, что восприимчивость TiB_2 сильно меняется при отклонении содержания бора от стехиометрии в области гомогенности. Следует отметить, что на величину восприимчивости оказывают влияние термические обработки образцов. На рисунке представлена зависимость восприимчивости образца HfB_2 , отожженного при 1500°С в течение 3 часов. Последующие отжиги при более низких температурах не приводят к изменению величины восприимчивости.

Магнитная восприимчивость диборида гафния χ может быть представлена в виде суммы следующих основных вкладов:

$$\chi = \chi_{\text{ост}} + \chi_{\text{орб}} + \chi_{\text{л}} + \chi, \quad (1)$$

где $\chi_{\text{ост}}$ — диамагнитная восприимчивость ионного остова, $\chi_{\text{орб}}$ — орбитальная составляющая парамагнитной восприимчивости электронов проводимости, $\chi_{\text{л}}$ и $\chi_{\text{л}}$ — паулиевская восприимчивость и диамагнетизм Ландау электронов проводимости. $\chi_{\text{ост}}$ не зависит от температуры. Теоретический расчет с использованием приближенных функций Слейтера [10] дает для HfB_2 величину $\chi_{\text{ост}} = -0,5 \cdot 10^{-6}$ см³/г. Диамагнетизм остова дает существенный вклад в полную восприимчивость, так как HfB_2 в целом диамагнитен. Приближенные оценки с использованием работы [11] показывают, что $\chi_{\text{орб}}$ для HfB_2 не превосходит $0,05 \cdot 10^{-6}$ см³/г и не зависит от температуры.

Чтобы рассчитать вклад электронов проводимости ($\chi_{\text{л}} + \chi_{\text{л}}$) в восприимчивость, нужно знать вид функции плотности состояний, который в данном случае неизвестен. Для вырожденного электронного газа ($kT \ll \epsilon_F$) в приближении эффективной массы этот вклад имеет вид [10]

$$\chi_{\text{л}} + \chi_{\text{л}} = \frac{12 m^* \mu_B^2}{h^2} \left(\frac{\pi}{3} \right)^{2/3} n^{1/3} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{m_e}{m^*} \right)^2 \right] \quad (2)$$

и с точностью до членов $(kT/\epsilon_F)^2$ не зависит от температуры.

Так как концентрация электронов проводимости n при этом не меняется, уменьшение магнитной восприимчивости можно связать с уменьшением эффективной массы, что, в свою очередь, связано с изменением плотности состояний на уровне Ферми. Возможность уменьшения эффективной массы с повышением температуры рассматривалась в работе [12]. В частности, согласно формуле (2), из экспериментальной зависимости (см. рисунок) оценка для уменьшения эффективной массы в интервале температур 100–700°K дает $\Delta m^* \approx 5 m_e$. Это означает, что эффективная масса электронов проводимости при 100°K превышает значение $5 m_e$. В то же время при данной концентрации электронов проводимости и при зна-

чения эффективной массы $m^* \geq 5 m_e$ величина kT сравнима с ε_F , т. е. электронный газ частично вырожден. В свою очередь, при более высоких температурах (выше 700°K) наблюдается более резкое уменьшение значения восприимчивости с повышением температуры (см. рисунок), и экспериментальная зависимость близка к кривой, подчиняющейся закону Кюри, характеризующему поведение магнитной восприимчивости невырожденного электронного газа.

Таким образом, можно заключить, что температурная зависимость магнитной восприимчивости H/B_2 определяется вкладом от электронов проводимости. Наблюдаемый температурный ход и существенное уменьшение восприимчивости коллективизированных электронов обусловлены характерными свойствами электронного газа, который, по-видимому, частично вырожден вследствие сравнительно низкой концентрации и большой эффективной массы электронов проводимости.

НПО «Энергия»

Поступила 16.VIII.1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Самсонов. ЖЭТФ, 26, 716 (1956).
2. H. J. Juretschke, R. Steinitz. J. Phys. Chem. Sol., 4, 118 (1958).
3. С. Н. Львов, В. Ф. Немченко, Г. В. Самсонов. ДАН СССР, 135, 577 (1960).
4. J. Piper. J. Phys. Chem. Sol., 27, 1907 (1966).
5. Г. В. Самсонов, Б. А. Ковенская, Т. И. Серебрякова. Изв. вузов, Физика, № 1, 19 (1971).
6. Б. И. Малинский, В. Ф. Немченко, С. Н. Львов. Изв. вузов, Физика, № 12, 69 (1969).
7. Д. И. Волков, П. А. Пшеничкин. ЖЭТФ, 43, 371 (1962).
8. С. Н. Львов и др. Изв. АН СССР, Неорганические материалы, 10, 600 (1974).
9. М. И. Айвазов и др. Изв. АН СССР, Неорганические материалы, 7, 1176 (1971).
10. С. В. Вонсовский. Магнетизм, Изд. Наука, М., 1971.
11. Э. В. Галошина. УФН, 113, 105 (1974).
12. Г. В. Самсонов, Т. И. Серебрякова, В. А. Неронов. Бориды, Атомиздат, М., 1975.

ՀԱՅՆՈՒՄԻ ԴԻԲՈՐԻԴԻ ՄԱԳՆԻՍՏԱԿԱՆ ԸՆԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Մ. Ի. ԱՅՎԱԶՈՎ, Ս. Վ. ԱԼԵՔՍԱՆԴՐՈՎԻՉ, Վ. Ա. ԲԱՇԻԼՈՎ, Վ. Ս. ՄԿՐՏՅԱՆ

Աշխատանքում հետազոտված է HfB_2 միացության մագնիսական ընկալության շերտատի-
ձանային կախումը: Դիտարկվող զգալի շերտատիձանային կախումը բացատրվում է ուսում-
նասիրվող նյութի էլեկտրոնային զագին ընթրող հատկություններով:

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF HAFNIUM DIBORIDE

M. I. AJVAZOV, S. V. ALEKSANDROVICH, V. A. BASHILOV,
V. S. MKRTCHYAN

The temperature dependence of magnetic susceptibility of HfB_2 was investiga-
ted. The obtained temperature dependence of conduction electrons susceptibility is
connected with the properties of the electron gas which is partially degenerate due
to the small concentration $n \sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ and large effective mass of electrons.