

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО СОЕДИНЕНИЯ



*Н.Е.Алексеевский, Ч.Базан¹⁾, Н.М.Добровольский,
В.И.Цебро*

Показано, что исследованная система имеет фазовую диаграмму отличную от обычных сверхпроводников второго рода, а именно в определенной области полей и температур сильный парамагнетизм (ферромагнетизм) сосуществует со сверхпроводимостью.

Мы уже сообщали, что при исследовании Mo_5SnS_6 легированного Ga или Al в области температур между температурой сверхпроводящего перехода T_K и $T \sim 30\text{K}$ зависимость магнитного момента M от магнитного поля в отличие от Mo_5SnS_6 была нелинейной [1]. Представляло интерес провести исследования магнитных свойств таких систем не только в нормальной, но и в сверхпроводящей области.

Нами были исследованы $M(H)$ и $H_K(T)$ для образцов $\text{Mo}_5\text{SnGa}_{0,5}\text{S}_6$ в широкой области полей и температур.

Образцы вырезались из цилиндра $\text{Mo}_5\text{SnGa}_{0,5}\text{S}_6$. Такой цилиндр получался спеканием прессованного порошка соединения, которое получалось прямым синтезом компонент. Образцы обычно имели размеры $1 \times 1 \times 5 \text{ мм}^3$. Для измерения магнитного момента использовался вибционный магнитометр²⁾. Для получения зависимости $H_K(T)$ использовались кривые изменения сопротивления $R(H)|_{T=\text{const}}$ или $R(T)|_{H=\text{const}}$. Для измерения сопротивления концы образцов электролитически покрывались медью, после чего к ним припаивались токовые и потенциальные проводники.

На рис. 1 приведены зависимости $M(H)$ полученные при различных температурах. Из приведенного рисунка видно, что в области температур, лежащих выше T_K , магнитный момент парамагнитный. Зависимость $M(H)$ имеет вид кривой с насыщением, при этом при $H > 25 \text{ кэ}$ и вплоть до 140 кэ магнитный момент не зависит от магнитного поля. При $T < T_K$ в области слабого магнитного поля магнитный момент диамагнитный и зависимость $M(H)$ имеет обычный для сверхпроводимости вид. При $T/T_K = 0,96$ максимальное значение диамагнитного момента (точка a) примерно равно парамагнитному моменту в области насыщения $M_{\text{нас}}$. В точке b магнитный момент равен нулю т. е. $M_{\text{диа}} = M_{\text{пара}}$. В точке c магнитный момент выходит на насыщение $M = M_{\text{нас}}$. Следует отметить, что $M_{\text{нас}}$ не зависит от температуры.

¹⁾ Сотрудник Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур, г. Вроцлав, ПНР.

²⁾ Такой магнитометр был изготовлен в Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур. В отличие от [1] в данном случае измерения M проводились в однородном магнитном поле.

На рис. 2 приведены зависимости $H_{K_1}(T)$ — кривая I $H_{K_2}(T)$ — кривая III, кроме того на этом рисунке (кривая II) показана зависимость от температуры поля H_0^* при котором $M_{\text{диа}} = M_{\text{пара}}$. Зависимость $H_{K_1}(T)$ построена из температурной зависимости значения поля в точке a^1 , также как $H_0^*(T)$ — в точке b . Значения $H_{K_2}(T)$ на кривой III получены из кривых изменения сопротивления, однако на той же кривой несколько точек в области относительно близкой к T_K взяты из значений поля в точках c . Видно, что значения H_{K_2} определенные различными способами хорошо ложатся на одну и ту же кривую.

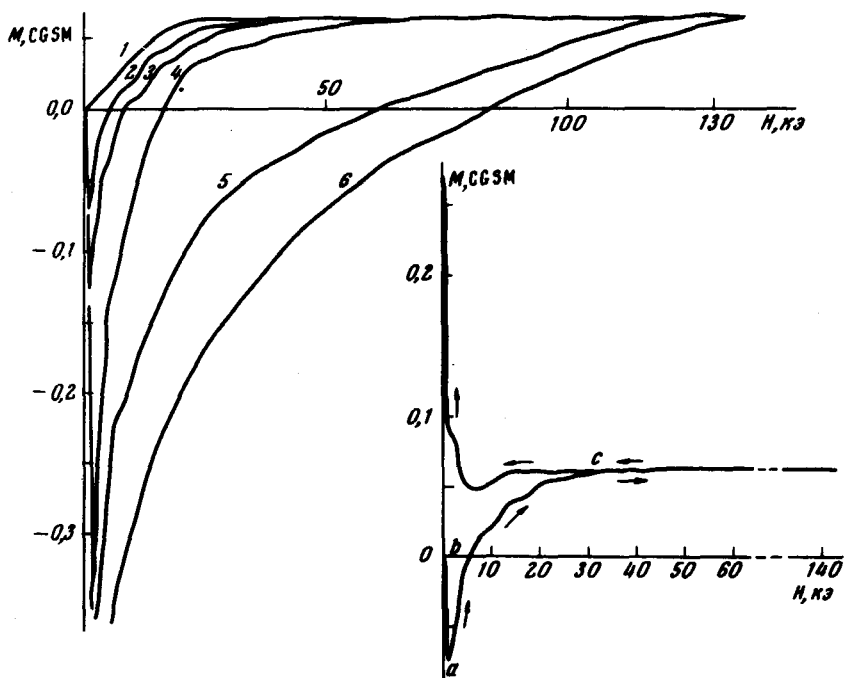


Рис. 1. Зависимости магнитного момента от поля $M(H)$, полученные при разных температурах. Кривые 1, 2, 3, 4, 6 соответствуют значениям T/T_K 1,1; 0,96; 0,93; 0,89; 0,6 и 0,4 соответственно. В правом нижнем углу рисунка приведена зависимость $M(H)$ при $T/T_K = 0,96$, полученная при прямой и обратной развертке магнитного поля

Из рис. 2 следует, что исследованная нами система имеет фазовую диаграмму отличную от обычных сверхпроводников второго рода: в области малых полей $H < H_{K_1}$ исследованные образцы диамагнитны, при $H_{K_1} < H < H_0^*$ образцы находятся в смешанном состоянии (т.е. в фазе Шубникова), при этом среднее значение восприимчивости $\bar{\chi} < 0$, и

¹⁾ В связи с тем, что размагничивающий фактор исследованных образцов мал, такое приближение является допустимым.

наконец при $H_0^* < H < H_{K2}$ система находится в новом смешанном состоянии в котором $\bar{\chi} > 0$, т. е. в этой области полей сильный парамагнетизм (или ферромагнетизм) сосуществует со сверхпроводимостью. Следует заметить, что если снимать зависимость магнитного момента от температуры при различных значениях внешнего поля, то в малых полях при понижении температур до $T < T_{KH}$ образец переходит в диамагнитное состояние в то время, как в больших полях при охлаждении магнитный момент становится неустойчив и в образце замораживается большой парамагнитный момент, связанный вероятно с замороженными токами.

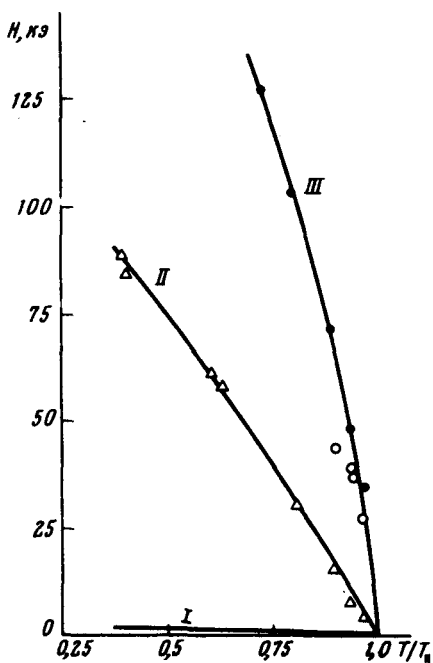


Рис. 2. Зависимость $H_K(T)$: I— $H_{K1}(T)$, II— $H_0^*(T)$, III— $H_{K2}(T)$; H_0^* — магнитное поле, при котором $M_{\text{диа}} = M_{\text{пара}}$; ● — значение H_{K2} полученные из изменения сопротивления; ○ — значения H_{K2} полученные из значения поля в точках с, когда магнитный момент выходит на насыщение

Наиболее подробно была исследована система $\text{Mo}_5\text{SnGa}_{0,5}\text{S}_6$. По-видимому, однако, и некоторые другие многокомпонентные халькогениды молибдена обладают аналогичными свойствами. Так, например, такие же свойства имеет $\text{Mo}_5\text{SnAl}_{0,5}\text{S}_6$.

Как уже отмечалось ранее [1] особенности магнитных свойств исследованных халькогенидов нельзя объяснить присутствием ферромагнитных примесей. Следует однако заметить, что состав образцов возможно отличается от шихтового, так как в них по микроскопическим и электронномикроскопическим данным, наблюдались металлические включения обогащенные Ga. Величина момента насыщения $M_{\text{нас}}$, по-видимому, зависит от количества Ga вошедшего в соединение.

Высокие критические температуры T_K , весьма высокие значения dH_{K2}/dT и большая величина электронной теплоемкости дают все основания полагать, что как сверхпроводящие, так и магнитные свойст-

ва этих систем определяются большой плотностью состояний на Ферми-поверхности $N(0)$. Для выяснения истинной причины особенностей этих систем необходимы дальнейшие исследования.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7 августа 1974 г.

Литература

- [1] Н.Е.Алексеевский, Н.М.Добровольский, В.И.Щебро. Письма в ЖЭТФ, 20, 59, 1974.
-