

УДК 536.48

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Н. Е. АЛЕКСЕЕВСКИЙ, В. М. ЗАКОСАРЕНКО

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ СПЛАВОВ БЕРИЛЛИЯ

Интерес к бериллию и его сплавам обусловлен тем, что бериллий является металлом с уникальными свойствами, к числу которых прежде всего следует отнести рекордно высокую температуру Дебая. При температуре 1254°C и нормальном давлении в бериллии наблюдается полиморфное превращение равновесной α -фазы в β -фазу, которая стабильна только в области температур $1254 - 1284^{\circ}\text{C}$ ⁽¹⁾. Равновесная фаза бериллия переходит в сверхпроводящее состояние при $0,026^{\circ}\text{K}$ ⁽²⁾, однако пленки бериллия, скопечисированные на подложку, охлаждаемую жидким гелием, имеют значительно более высокую критическую температуру. T_c холодноосажденных пленок Ве зависит от их толщины и в области толщины $50 - 200 \text{ \AA}$ изменяется от $8,6$ до $5,6^{\circ}\text{K}$ ⁽³⁾. Сверхпроводимость в этом случае обычно объясняется образованием нестабильной β -фазы при конденсации на холодную подложку.

В работе ⁽⁴⁾ была обнаружена сверхпроводимость в сплавах Ве—Со, Ве—Си, Ве—Ni, которую авторы приписывают β -Ве, стабилизированному благодаря присутствию второй компоненты.

Известен целый ряд сплавов бериллия, которые переходят в сверхпроводящее состояние. К ним относятся ВеАи с $T_c = 2,6^{\circ}\text{K}$ ⁽⁵⁾; Ве₁₃W с $T_c = -4,1^{\circ}\text{K}$ ⁽⁶⁾; Ве₂₂Re с $T_c = 9,7^{\circ}\text{K}$ ⁽⁷⁾ и ряд других. В связи с тем, что некоторые сплавы бериллия имеют относительно высокую критическую температуру, представляло интерес продолжить исследование сплавов на основе бериллия.

Для приготовления сплавов использовался Ве с отношением сопротивлений $R_{300}/R_{4,2} \approx 100 - 500$. Другие металлы имели чистоту не хуже 99,96%. Образцы приготавливались следующим образом: порошки металлов в количествах, соответствующих составу сплава, тщательно перемешивались, после чего прессовались в стальной матрице на гидравлическом прессе. Спрессованные образцы переплавлялись в высокочастотной печи в атмосфере чистого гелия. Гелий продувался через кварцевую трубку, помещенную в контур высокочастотной печи; внутри трубки находился тигль с образцом. Использовались тигли из чистой окиси бериллия или алуодовые тигли, внутренняя поверхность которых была покрыта окисью бериллия. В некоторых случаях для спекания образцы в высокочастотной печи подвешивались в корзинке из ленты или проволоки, изготовленной из металла, являющегося одной из компонент сплава.

При исследовании сплавов проводились измерения критической температуры образцов и зависимость их магнитного момента от магнитного поля. Критическая температура измерялась по стандартной методике индукционным методом на мосте переменного тока. Для измерения в области промежуточных температур использовался прибор, описанный ранее в ⁽⁸⁾.

Результаты измерений сплавов бериллия приведены в табл. 1. Как видно из таблицы, в системе сплавов Ве—Ga наблюдается сверхпроводимость. На рис. 1 приведена зависимость T_c от концентрации Ga, из которой видно, что максимум T_c соответствует составу Ве₃Ga. На рис. 2 приведены зависимости магнитного момента от магнитного поля для одного из образцов сплава Ве₃Ga.

Среди систем сплавов бериллия с элементами группы платины сверхпроводимость была найдена в системах $\text{Be} - \text{Os}$, $\text{Be} - \text{Ir}$, $\text{Be} - \text{Pt}$, а также $\text{Be} - \text{Ru}$.

В системе $\text{Be} - \text{Pt}$ сверхпроводящим оказался сплав состава Be_2Pt . Критическая температура образцов этого сплава составляет $2,27^\circ \text{K}$. Кривая сверхпроводящего перехода одного из образцов приводится на рис. 3.

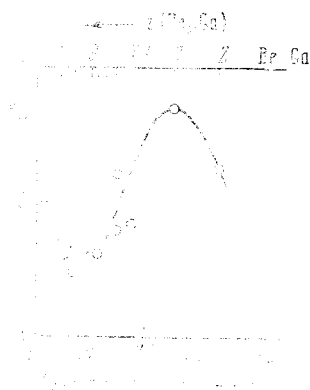


Рис. 1. Зависимость критической температуры образцов системы $\text{Be} - \text{Ga}$ от концентрации Ga.

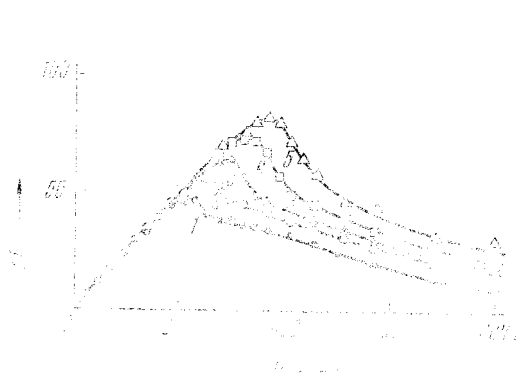


Рис. 2. Зависимость магнитного момента образца Be_3Os от магнитного поля при различных температурах: 1 — $4,2^\circ \text{K}$; 2 — $3,79^\circ \text{K}$; 3 — $3,45^\circ \text{K}$; 4 — $2,86^\circ \text{K}$; 5 — $2,48^\circ \text{K}$.

Образцы сплавов Be_2Ir и Be_2Os также переходили в сверхпроводящее состояние. Их критические температуры составляют соответственно $1,5^\circ$ и $9,2^\circ \text{K}$.

В системе $\text{Be} - \text{Ru}$ была обнаружена сверхпроводимость у сплавов состава Be_2Ru , при этом $T_c = 1,3^\circ \text{K}$.

Рентгеноструктурный анализ сплавов бериллия с элементами группы платины показал, что на дебаеграммах образцов, у которых была найдена сверхпроводимость, существуют линии, которые могут быть приписаны соединениям, образующимся в данных системах. Образованием интерметаллических соединений, по-видимому, и объясняется сверхпроводимость в системах $\text{Be} - \text{Ru}$, $\text{Be} - \text{Os}$, $\text{Be} - \text{Ir}$, $\text{Be} - \text{Pt}$. Структуру этих соединений пока определить не удалось.

Сверхпроводимость в системе $\text{Be} - \text{Ga}$ может быть объяснена реакцией либо $\beta\text{-Be}$, либо $\beta\text{-Ga}$, либо образованием интерметаллического соединения (например, Be_3Ga). Однако на дебаеграммах образцов этой системы присутствуют только две системы линий, соответствующих решеткам $\alpha\text{-Be}$ и $\alpha\text{-Ga}$. По-видимому, сверхпроводимость в данной системе объяснена образованием интерметаллического соединения, которое распределено только по границам кристаллитов и поэтому не обнаруживается на рентгенограммах. Возможность образования соединения на границах зерен в этой системе уже отмечалась ранее (см. например, (6)).

Кроме исследования двухкомпонентных систем, были проведены также измерения критических температур некоторых тройных сплавов типа $(\text{Be}_{1-x}\text{Re}_x)_2\text{M}$ и $\text{Be}_2(\text{Re}_{1-x}\text{M}_x)$.

Сплавы $(\text{Be}_{1-x}\text{Re}_x)_2\text{M}$, где $\text{M} = \text{Pd}$, Ru , Pt , Os , Mn и Cr , были изготовлены для пяти значений концентраций ($x = 0,001$; $0,002$; $0,003$; $0,004$; $0,005$) для каждого из металлов M . Существенного возрастания T_c выше,

чем $9,8^\circ\text{K}$, наблюдаемого для Be_{22}Re , в этих системах обнаружено не было. Среди сплавов типа $\text{Be}_{13}(\text{Re}_{1-x}\text{M}_x)$ и Re_{12}ReM , где в качестве М использовались 18 различных металлов (Li, Cu, Ag, Mg, Al, Ga, In, Ti, Zr, V, Mo, W, Co, Ru, Rh, Pd, Os, Pt), причем x изменялось от 0 до 1, T_c выше чем у Be_{13}Re ($9,9^\circ\text{K}$ в нашем случае) наблюдается только у сплава $\text{Be}_{12}\text{MgRe}$ и составляет $10,1^\circ\text{K}$.

У ряда соединений и сплавов бериллия не обнаружено сверхпроводимости при $T \geq 1,5^\circ\text{K}$, а некоторые соединения не переходили в сверхпроводящее состояние вплоть до $0,04^\circ\text{K}$. Данные по этим сплавам также приведены в табл. 1.

Из приведенных данных видно, что ни одно соединение, имеющее структуру типа MgZn_2 (гексагональная фаза Лавеса), не переходит в сверхпроводящее состояние при $T \geq 1,5^\circ\text{K}$. Однако соединение Be_5Pt , которое, по-видимому, имеет структуру типа MgCu_2 (кубическая фаза Лавеса), переходит в сверхпроводящее состояние при $2,3^\circ\text{K}$.

В настоящее время можно констатировать, что среди сплавов бериллия состава Be_{22}M и Be_{13}M , кроме ранее известных, обнаружена сверхпроводимость только у Be_{13}Ru ($T_c = 1,3^\circ\text{K}$). Новыми сверхпроводящими соединениями являются также Be_5Os ($T_c = 9,2^\circ\text{K}$), Be_5Ir ($T_c = 1,5^\circ\text{K}$), Be_5Pt ($T_c = 2,3^\circ\text{K}$) и Be_3Ga ($T_c = 6,7^\circ\text{K}$).

Авторы выражают благодарность В. Ф. Шамраю за проведенные рентгеноструктурные исследования.

Институт физических проблем
Академии наук СССР
Москва

Поступило
3 VII 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. И. Папилов, Г. Ф. Тихинский, Физическое металловедение бериллия, М., 1968.
- ² R. L. Falge jr., Phys. Letters, **24A**, 579 (1967).
- ³ N. E. Alekseevskii, V. I. Tsetro, J. Low, Temp. Phys., **4**, № 6, 679 (1971).
- ⁴ C. E. Olsen, B. T. Matthias, H. H. Hill, Zs. Phys., **200**, 7 (1967).
- ⁵ B. W. Roberts, Progr. Cryog., **4**, 161 (1964). (см. пер. в сборн. Новые материалы и методы исследования металлов и сплавов, под ред. И. И. Корнилова, М., 1966); B. W. Roberts, Nat. Bur. Stand. Technical Note, № 408, 1966.
- ⁶ Н. Е. Алексеевский, Н. Н. Михайлов, ЖЭТФ, **43**, 2110 (1962).
- ⁷ E. Bucher, F. Heiniger et al., Phys. Letters, **19**, 263 (1965).
- ⁸ Н. Е. Алексеевский, ЖЭТФ, **49**, 169 (1965).
- ⁹ М. Хансен, К. Андерко, Структуры двойных сплавов, М., 1962; Р. П. Эллиот, Структуры двойных сплавов, М., 1970.