

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НОВОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СВЕРХПРОВОДНИКА $\lambda$ -(BETS) $_2$ GaCl $_4$

А. Э. Применко, В. Д. Кузнецов, Н. Д. Куц\*, Э. Б. Ягубский\*

*Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева  
125820, Москва, Россия*

*\* Институт химической физики им. Н. Н. Семенова Российской академии наук  
117977, Москва, Россия*

Поступила в редакцию 13 февраля 1997 г.

Впервые исследованы магнитные свойства органического сверхпроводника  $\lambda$ -(BETS) $_2$ GaCl $_4$ . Показано, что переход в сверхпроводящее состояние начинается при  $T_c \approx 7$  К, что существенно ниже  $T_c \approx 11$  К, определенной по резистивным измерениям. Оцененное значение критической плотности тока оказалось на два порядка ниже, чем в сверхпроводниках семейства  $\kappa$ -(ET) $_2$ X.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время не ослабевают интерес к исследованию органических сверхпроводников на основе катион-радикальных солей. Интерес этот связан с необычными физическими свойствами этих квазидвумерных систем. Кроме того, исследования квазидвумерных систем являются важными для понимания физических явлений, происходящих в высокотемпературных сверхпроводниках.

Синтезированный недавно органический сверхпроводник  $\lambda$ -(BETS) $_2$ GaCl $_4$  является объектом интенсивного изучения. Однако магнитные свойства этого сверхпроводника до сих пор не изучены. Поэтому представлялось актуальным провести измерения температурных и полевых зависимостей магнитного момента монокристаллов данного сверхпроводника.

### 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Монокристаллы органического сверхпроводника были синтезированы по стандартной электрохимической технологии, описанной в [1]. Монокристаллы представляли собой тонкие пластины с типичными размерами  $0.1 \times 1.0 \times 0.04$  мм $^3$  (кристалл 1) и  $0.7 \times 1.3 \times 0.04$  мм $^3$  (кристалл 2). Кристалл 1 представлял собой одиночный монокристалл, а кристалл 2 состоял из нескольких монокристаллов, сросшихся между собой по плоскости  $ac$  (назовем его мультикристаллом). Таким образом, предоставлялась возможность сравнить измерения, проведенные на мультикристалле и на монокристалле, и тем самым оценить влияние границ сращивания на магнитные свойства. Ввиду чрезвычайной хрупкости монокристаллов  $\lambda$ -(BETS) $_2$ GaCl $_4$  применялись медленное охлаждение от комнатной температуры и крепление кристаллов при помощи пасты Рамзая. Кристаллы помещались в кварцевые ампулы дававшие пренебрежимо малый вклад в измеряемый отклик, ампулы вакуумировались и отпаивались. Затем внутри ампул путем диффузии через стенку создавалась атмосфера гелия, необходимая для теплообмена. Для измерений магнитного момента использовался СКВИД-магнитометр [2]. Точность

стабилизации температуры составляла 0.03 К, а погрешность измерения магнитного момента  $\approx 4 \cdot 10^{-11}$  А·м<sup>2</sup>. Измерения температурных зависимостей магнитного момента проводились в двух режимах: охлаждения в нулевом поле до минимальной температуры ( $T = 2$  К) с последующим вводом поля (*zero-field cooling*, ZFC) и охлаждения в поле (*field cooling*, FC).

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений представлены на рис. 1 и 2. Температурные зависимости магнитного момента, полученные в режимах ZFC и FC, сходны для обоих кристаллов. Интересно заметить, что данные сверхпроводники имеют очень широкий переход в магнитном поле. Для других катион-радикальных солей этот переход значительно уже и составляет в используемых полях ( $B_a \sim 1-2$  мТл) примерно 1–2 К. Температура начала сверхпроводящего перехода данного сверхпроводника, определенная по резистивным измерениям [3], составляла  $\approx 11$  К, в то время как по магнитным измерениям переход в нормальное состояние практически заканчивается при  $\approx 7$  К (в поле 2 мТл).

Полевые зависимости магнитного момента измеренные при  $T = 4.2$  К являются практически обратимыми и сходными для обоих кристаллов. Аналогичные кривые гистерезиса наблюдались в работе [4] для Y-Ba-Cu-O при температурах, близких к  $T_c$  ( $T/T_c \approx 0.96$ ). Такой необычный вид кривых намагничивания связан с тем, что в данном случае обратимый вклад в магнитный момент существенно превосходит необратимый вклад (обычно ситуация обратная). Величина критической плотности тока, оцененная по модели Бина из ширины петли гистерезиса, составляет  $\approx 10$  А/см<sup>2</sup>. Это на два порядка меньше, чем в сверхпроводниках  $\kappa$ -(ET)<sub>2</sub>X. Вероятно, это можно связать с большей степенью двумерности данных сверхпроводников в сравнении с  $\kappa$ -(ET)<sub>2</sub>X.

Так как кривая намагничивания практически не имеет линейного участка (и также из-за большого размагничивающего фактора  $N \approx 0.9$  используемых кристаллов), нам не удалось оценить первое критическое поле. Можно только утверждать, что поле начала проникновения для этих монокристаллов не превышает 0.1 мТл.

### 4. ВЫВОДЫ

Впервые исследованы магнитные свойства нового органического сверхпроводника  $\lambda$ -(BETS)<sub>2</sub>GaCl<sub>4</sub>. Показано, что данный сверхпроводник имеет очень широкий переход в магнитном поле, что можно связать с большей анизотропией данного сверхпроводника. Для представителей семейства  $\kappa$ -(ET)<sub>2</sub>X этот переход значительно уже и температура перехода  $T_c$ , определяемая по магнитным измерениям, хорошо согласуется со значением, оцениваемым по резистивным измерениям.

Измерения на мультикристалле и монокристалле дали практически одинаковые результаты, что может свидетельствовать о малом влиянии межкристаллических границ на магнитное поведение данной системы.

Кривые намагничивания носят почти обратимый характер с небольшим гистерезисом, соответствующим критической плотности тока  $j_c \approx 10$  А/см<sup>2</sup>, что на два порядка ниже, чем для сверхпроводников семейства  $\kappa$ -(ET)<sub>2</sub>X.

В целом специфику магнитных свойств  $\lambda$ -(BETS)<sub>2</sub>GaCl<sub>4</sub>, в сравнении с  $\kappa$ -(ET)<sub>2</sub>X, можно связать с более анизотропной кристаллической структурой этого сверхпроводника, что приводит к меньшей устойчивости сверхпроводящего состояния в сравнении с менее анизотропными аналогами.

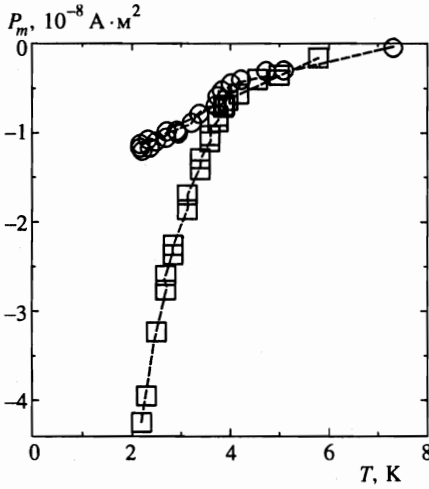


Рис. 1. Температурные зависимости магнитного момента для кристалла 2: в режимах FC (o) и ZFC (□);  $B_a = 2$  мТл

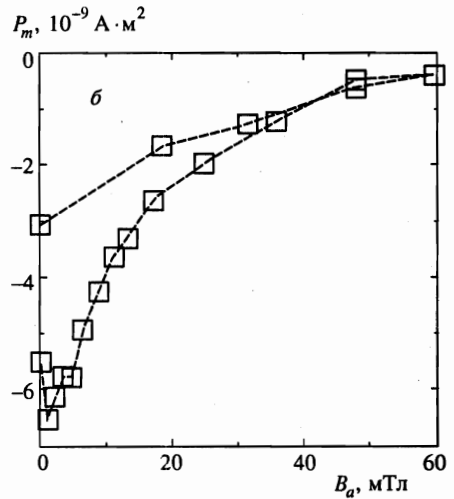
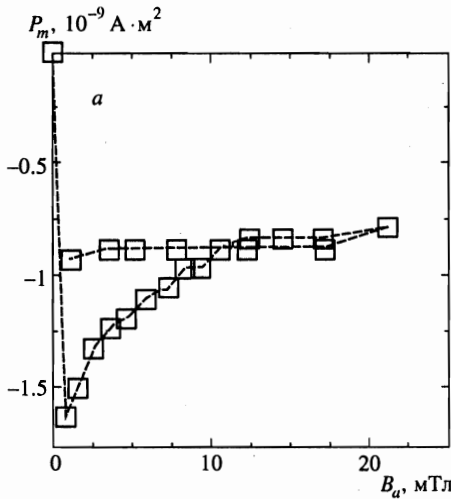


Рис. 2. Кривые намагничивания для кристаллов 1 (а) и 2 (б) при  $T = 4.2$  К

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность И. Ф. Щеголеву за ряд критических замечаний по результатам работы.

### Литература

1. L. K. Montgomeri, T. Burgi, and J. C. Huffmann, *Physica C* **219**, 490 (1994).
2. В. Д. Кузнецов, ПТЭ вып. 4, 196 (1985).
3. Н. Д. Куш, частное сообщение.
4. M. Oussena and S. Senoussi, *Europhys. Lett.* **4**, 625 (1987), S. Senoussi, *J. de Phys. III* **2**, 1041 (1992).