

УДК 539.21

Е.В. Карушева (4 курс, каф. ЭИКиК), Ю.А.Полонский, д.т.н., проф.

НОВЫЙ СВЕРХПРОВОДНИК НА ОСНОВЕ ДИБОРИДА МАГНИЯ

Явление сверхпроводимости (СП) было открыто Г. Камерлинг-Оннесом в 1911 году. Исследуя Hg, он обнаружил, что ее электрическое сопротивление при температуре 4,15 К практически падает до нуля. Для перевода Hg в подобное СП состояние использовался жидкий гелий. Необходимость применения такого хладагента, являющегося относительно дефицитным и дорогим, сдерживало широкое применение явления сверхпроводимости в технике. Поэтому со времени открытия СП одной из актуальных задач электроматериаловедения была проблема создания материалов, обладающих более высокой температурой перехода из нормального в сверхпроводящее состояние (T_c), что позволило бы применить более дешевые хладагенты. Интенсивные работы в этом направлении позволили в 1973 г. создать интерметаллическое соединение Nb_3Ge , имеющее (в виде пленки) среди всех известных в настоящее время традиционных сверхпроводников максимальное значение (T_c), равное 23,2 К. Другие интерметаллические соединения на основе ниобия (ниобаты Sn, Zr, Ti, V) имеют T_c в пределах 10-18 К. Открытие в 1986 г. нового класса так называемых высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) позволило резко увеличить T_c с преодолением в 1987 г. азотного барьера (77,4 К). Максимальная и достоверная величина T_c для высокотемпературных сверхпроводников в настоящее время составляет 135 К для $Hg_1Ba_2Ca_2Cu_3O_{8+x}$ (1993 г.) при нормальном давлении. Работы в рамках ВТСП сейчас интенсивно ведутся и уже достигнуты определенные положительные результаты, связанные с применением ВТСП в кабелях, электрических машинах, трансформаторах, а также в микроэлектронике. Однако, материалы на основе купратных ВТСП, обладая несомненным преимуществом в виде высоких значений T_c , в то же время имеют и ряд недостатков (иттриевые и висмутовые ВТСП – дороги, таллиевые и ртутные – токсичны). Поэтому открытие в 2001 г. нового сверхпроводника на основе диборида магния (MgB_2), синтезируемого из сравнительно широко распространенных в земной коре и нетоксичных химических элементов, вызвало широкий интерес у специалистов.

Диборид магния относится к группе боридов, среди которых имеются соединения с высокой температурой плавления /разложения/ ($T_{пл}$), такие как бориды W, Zr, Ti, Hf с $T_{пл}$ 2600-3000 °С. Бориды обладают значительной твердостью и большой химической устойчивостью в бескислородной среде, что наряду с высокой $T_{пл}$, делает их перспективными высокотемпературными материалами. В системе В-Mg имеются три соединения Mg_3B_2 , MgB_2 , MgB_{12} . Диборид магния (MgB_2), у которого была обнаружена СП, обладает следующими свойствами: пикнометрическая плотность – 2,63 г/см⁻³; содержание бора – 47,09 % (масс.); структура – гексагональная ($a=3,083 \text{ \AA}$, $c=3,520 \text{ \AA}$). Технологический процесс изготовления изделий из боридов осуществляется с использованием различных способов – плавление или спекание (под давлением) исходных компонентов; электролиз в расплавленной среде; осаждение из газовой фазы и др.

СП свойства MgB_2 характеризуются $T_c=39 \text{ К}$, что почти в 2 раза выше T_c у Nb_3Ge . При замене в MgB_2 изотопа бора ^{11}B на ^{10}B величина T_c возрастает на 1 К, что соответствует теории БКШ. Анализ кристаллической структуры MgB_2 , состоящего из чередующихся слоев атомов Mg и B, показал, что химические связи в этом соединении ведут себя как чисто металлические, что объясняет справедливость применения к MgB_2 теории БКШ. Согласно одной из распространенных гипотез в MgB_2 реализуется двухщелевая СП. Расчеты показывают, что две щели закрываются одновременно при $T_c \approx 40 \text{ К}$. Введение некоторых

примесей, способствующих пиннингу, например, O_2 , позволило повысить критическую плотность тока (J) до 10^5 А/см² при 4,2 К и магнитном поле $B=10$ Тл. В образце MgB_2 , имевшим контакт с Fe, $J=3 \cdot 10^4$ А/см² при 25 К и $B=1$ Тл.