

квадраты (рис. 3). В результате в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  существуют медь-кислородные плоскости и цепочки.

На примере сверхпроводящих соединений в системах  $\text{Tl} - \text{Ba} - \text{Ca} - \text{Cu} - \text{O}$  и  $\text{Bi} - \text{Sr} - \text{Ca} - \text{Cu} - \text{O}$  установлена связь между характером чередования

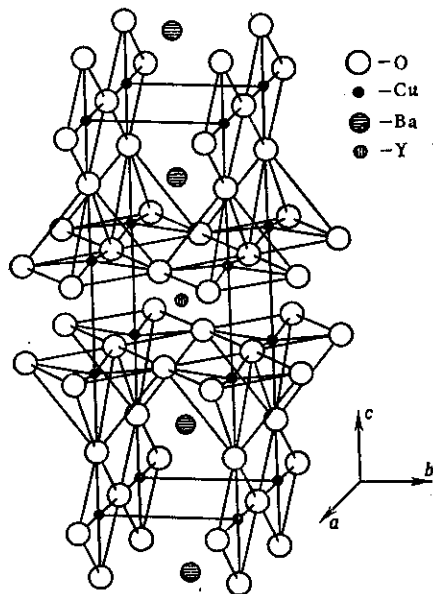


Рис. 3. Кристаллическая структура соединений  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ .

медь-кислородных плоскостей и значением  $T_c$  (рис. 4): «прослаивание» плоскостей  $\text{Cu} - \text{O}$  плоскостями  $\text{Ca}$  увеличивает до предела значение критич. темп-ры. Наличие уединённых слоёв  $\text{Cu} - \text{O}$  с металлич. проводимостью является для О. в. с. фактором, способствующим повышению  $T_c$ . В качестве исключения из этого эмпирич. правила можно назвать соединение  $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{BiO}_3$  ( $T_c = 30$  К), не содержащее медь и имеющее кубич. решётку типа перовскита.

Для электрич. свойств О. в. с. в нормальном состоянии типичен линейный рост сопротивления с изменением темп-ры. Квазидвумерная слоистая структура О. в. с. проявляется в сильной анизотропии ферми-поверхности, электрических и сверхпроводящих свойств. Измерение коэф. Холла и Зеебека указывает, что носителями заряда в большинстве О. в. с. являются дырки (см. Зеебека эффект, Холла эффект), хотя имеются соединения и с электронным типом проводимости (напр.,  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ ,  $T_c = 24$  К). О. в. с. — соединения, производные от родственных им оксидных систем, таких как  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  и  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ . Это антиферромагн. диэлектрики типа Мотта — Хаббарда (см. Моттовские диэлектрики), в к-рых одноцентровые кулоновские электрон-электронные корреляции приводят к расщеплению на верхнюю и нижнюю хаббардовские зоны меди (см. Хаббарда модель). Кислородная зона находится в

энергетич. зазоре между ними. Возможно и перекрытие кислородной зоны с нижней хаббардовской зоной меди. Уровень Ферми располагается вблизи потолка кислородной зоны, при этом реализуется ситуация типа «дырки — на кислороде, локальные магн. моменты — на меди». Замещение  $\text{La}$  на  $\text{Sr}$  или варьирование концентрации кислорода приводит к созданию дырок в кислородной зоне.

О. в. с. — сверхпроводники второго рода с сильной анизотропией 1-го и 2-го критич. полей, глубины проникновения магн. поля  $\lambda$ , критического тока  $I_c$ , длины когерентности  $\xi$  (табл.).

Характеристики некоторых оксидных высокотемпературных сверхпроводников

	Поле параллельно слою $\text{Cu} - \text{O}$		Поле перпендикулярно слою $\text{Cu} - \text{O}$		$T_c$
	$H_{c2}^{\parallel}(0), T_A$	$\xi_{\parallel}(0), \text{Å}$	$H_{c2}^{\perp}(0), T_A$	$\xi_{\perp}(0), \text{Å}$	
$(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4 \dots$	83	74	6	5	36
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 \dots$	140	35	28	7	92
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x \dots$	270-400	34-40	21-29	2-3	85

Сама сверхпроводимость связана с проводящими слоями  $\text{Cu} - \text{O}$ , а роль остальных элементов сводится фактически к удержанию нужной кристаллич. структуры. В частности, в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  замена  $\text{Y}$  на любой трёхвалентный редкоземельный элемент, в т. ч. и магнитный, практически не сказывается на значениях  $T_c$ . В результате соединения  $\text{R}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  с  $\text{R} - \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}, \text{Dy}, \text{Er}$  переходят в антиферромагн. состояние соответственно при  $T = 0,52; 0,61; 2,25; 0,90; 0,60$  К без разрушения самого сверхпроводящего состояния, т. е. указанные О. в. с. относятся к классу антиферромагн. сверхпроводников (см. Магнитные сверхпроводники).

В  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  длина когерентности поперёк слоёв  $\text{Cu} - \text{O}$  ( $\xi_{\perp}$ ) несколько меньше расстояния между слоями, однако сверхпроводимость является трёхмерной. В  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$   $\xi_{\perp} \approx 2-3 \text{Å}$  уже значительно меньше расстояния между слоями  $\text{Cu} - \text{O}$ , и сверхпро-

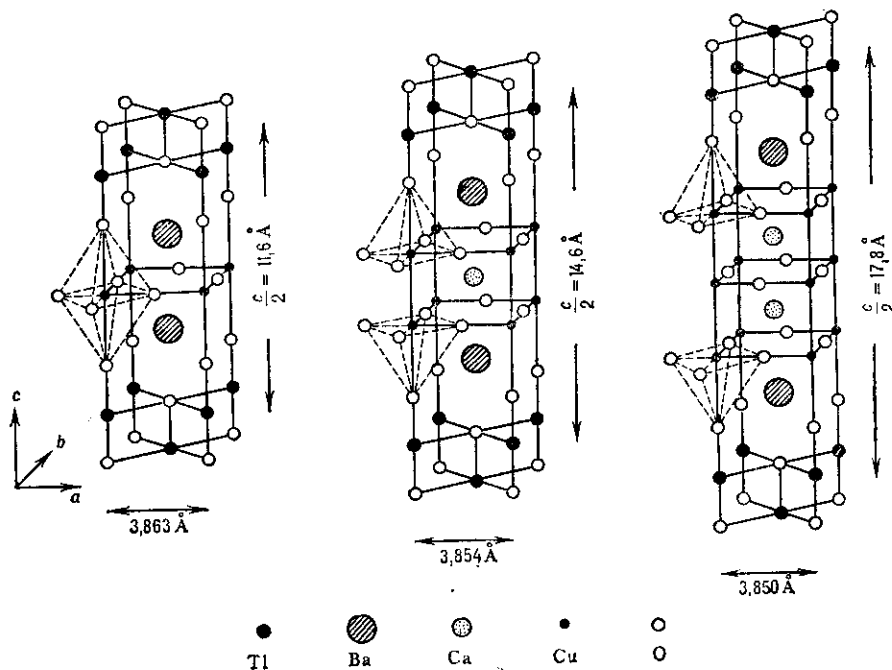


Рис. 4. Кристаллическая структура таллиевых (висмутовых) оксидных сверхпроводников: слева —  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_x$  ( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$ ), в центре —  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  ( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ ), справа —  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  ( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ).