

Сверхпроводимость: «железный век» на смену «бронзовому»?



ЛАВРОВ Александр Николаевич — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики низких температур Института неорганической химии СО РАН (Новосибирск)

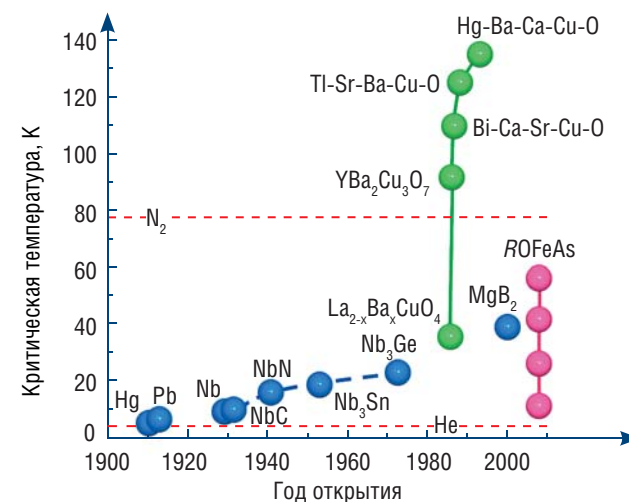
В 2008 г. открыт новый класс высокотемпературных сверхпроводников на основе арсенида железа. Известные ранее материалы с такими свойствами были соединениями меди. Возможно, исследования нового семейства веществ помогут ученым лучше понять механизм и необходимые условия возникновения высокотемпературной сверхпроводимости, имеющей большое фундаментальное и прикладное значение.

Явление *сверхпроводимости* — способность проводника пропускать электрический ток без какого-либо сопротивления и выталкивать из своего объема магнитное поле — было открыто почти 100 лет назад. За прошедшее время этот чисто квантовый эффект, обусловленный объединением электронов в так называемые *куперовские пары*, был обнаружен в сотнях различных химических соединений и нашел множество практических применений. Основным фактором, не позволяющим, однако, сделать использование сверхпроводников массовым, является необходимость охлаждения их до низких температур. До 1986 г. все известные сверхпроводники имели *критические температуры* T_c ниже 23 К (-250°C), а значит, нуждались в охлаждении жидким гелием.

Открытие в 1986 г. высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) на основе оксидов меди (*купратов*), допускающих замену дорогого жидкого гелия на доступный азот, произвело настоящий фурор. К 1993–1994 гг. критические температуры ВТСП-купратов достигли рекордных значений: $T_c \approx 140$ К (165 К под высоким давлением). Но в течение 20 лет интенсивных исследований не удалось ни заметно снизить цены на изделия из купратных ВТСП, ни найти другие сверхпроводящие материалы с $T_c > 40$ К.

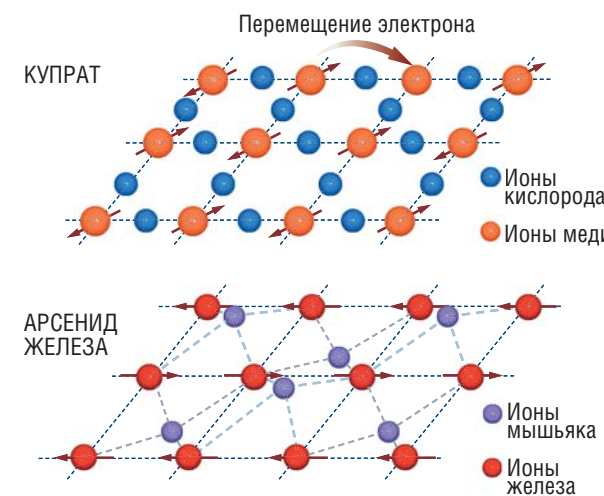
Опубликованное в феврале 2008 г. сообщение исследователей из Токийского технологического института об открытии нового класса сверхпроводников на основе арсенида железа с критической температурой 26 К инициировало новый виток гонки в поисках ВТСП-материалов. В марте в исследования включились десятки научных лабораторий, и уже к концу марта — началу апреля буквально посыпались сообщения об обнаружении все новых и новых сверхпроводников на основе фосфидов и арсенидов железа и никеля с критическими температурами до 55 К. Через несколько месяцев целые секции крупных физических конференций стали выделяться специально под тематику сверхпроводников на основе FeAs.

Чем же вызвано такое внимание к новым сверхпроводникам, если их критические температуры пока весьма далеки от рекордных 140 К, достигнутых в ВТСП-купратах? Основное значение открытия FeAs-сверхпроводников — это, безусловно, разрушение стереотипов и уничтожение монополии купратов, точно так же, как открытие самих купратов в свое время сломало представления о невозможности сверхпроводимости с $T_c > 30$ –40 К. Кроме того, за два десятка лет исследований купратов, которые были единственным известным классом ВТСП-соединений, так и не удалось понять механизм и необходимые условия возникновения высокотемпературной сверхпроводимости.



Вот история сверхпроводимости: максимальные значения критической температуры, достигнутые в традиционных низкотемпературных сверхпроводниках (синие кружки), купратах (зеленые) и FeAs-соединениях (фиолетовые). Пунктиром отмечены уровни температур жидкого гелия и азота

С открытием нового класса сверхпроводников ситуация изменилась. Сравнение арсенидов железа с купратами уже показало, что, например, наличие в структуре легких ионов кислорода, считавшееся важнейшим условием возникновения сверхпроводимости с $T_c > 50$ К, таковым, скорее всего, не является. Как оказалось, новые сверхпроводники имеют с купратами всего два очевидных сходства. Первое — это слоистая структура, второе — близость сверхпроводящего состояния к *антиферромагнитному*, в котором магнитные моменты ионов металла в соседних узлах кристаллической решетки ориентированы противоположным образом, так что намагниченность вещества в целом равна нулю. Возможно, что сравнение купратов и арсенидов железа даст наконец ответ на принципиальный вопрос, что же в них является «клеем», столь прочно связывающим электроны в сверхпроводящие пары: колебания



Основные структурные компоненты высокотемпературных сверхпроводников — плоскости CuO_2 в купратах и плоскости FeAs в сверхпроводниках нового поколения. Стрелочками показаны магнитные моменты ионов меди и железа, которые стремятся образовать антиферромагнитный порядок, изменяя направление на 180° вдоль одной или двух осей. Сверхпроводимость возникает при химической модификации соединения, когда часть электронов из плоскостей CuO_2 и FeAs удаляется, а оставшиеся приобретают возможность двигаться по освободившимся местам (большая стрелка на верхнем рисунке). По: (Cho, 2008)

решетки, как в низкотемпературных сверхпроводниках, или магнитные флуктуации («колебания» магнитных моментов)?

Возвращаясь к вопросу о рекордных температурах, стоит задуматься, а какие, собственно, значения требуются для разнообразных и столь заманчивых практических приложений? Если забыть о полувекковой мечте физиков о «комнатной» сверхпроводимости, то принципиальным является не стремление к рекордам выше 140–165 К, а лишь достижение $T_c > 90$ К, что позволит использовать для охлаждения жидкий азот, а далее вопрос сводится лишь к цене изделий. В этом смысле достигнутые в FeAs-сверхпроводниках 55 градусов по абсолютной шкале вселяют надежду. И самое главное, область поисков вновь расширилась на всю таблицу Менделеева!