

**Кунтуш Е.В., Ракитин В.Н.**

*Карагандинский государственный индустриальный университет, Казахстан*

## **Применение сверхпроводниковых материалов в промышленности**

В электротехнике все вещества по электропроводности можно разделить на четыре группы – диэлектрики, полупроводники, проводники и сверхпроводники. Диэлектрики – это вещества, которые существенно препятствуют протеканию через них электрического тока ввиду высокого удельного сопротивления, часто превышающего  $10^8$  Ом·м. Полупроводники – это вещества, удельное сопротивление которых зависит от внешних условий, например, флуктуаций температуры, изменений интенсивности облучения световым потоком и прочего. Проводники – это материалы, которые почти не препятствуют протеканию по ним электрического тока благодаря низкому удельному сопротивлению, обычно не превышающему  $10^{-5}$  Ом·м. Сверхпроводники – это материалы, в которых при охлаждении до некоторой критической температуры резко уменьшается удельное сопротивление до нуля, а также благодаря своим свойствам способны выталкивать магнитное поле из своего объема.[1]

Явление сверхпроводимости при криогенных температурах достаточно широко распространено в природе. Сверхпроводимостью обладают 26 металлов, в сверхпроводящее состояние могут переходить также несколько сот металлических сплавов и соединений и некоторые сильнолегированные полупроводники. Существуют сверхпроводящие сплавы, в которых отдельные компоненты или даже все компоненты сплава сами по себе не являются сверхпроводниками. Сверхпроводимость никогда не наблюдается в системах, в которых существует ферромагнетизм или антиферромагнетизм.[2]

Следует заметить, что сверхпроводимостью не обладают металлы, являющиеся наилучшими проводниками в нормальных условиях. К ним относятся золото Au, медь Cu, серебро Ag [3].

По магнитным свойствам различают сверхпроводники 1го и 2го рода. К сверхпроводникам относятся около половины металлов (например, Al,  $T_K=1,2\text{K}$ ; Pb,  $T_K=7,2\text{K}$ ), несколько сотен сплавов (например, Ni-Ti,  $T_K\approx 9,8\text{K}$ ), в том числе интерметаллические соединения (например, Nb<sub>3</sub>Ge,  $T_K\approx 23\text{K}$ ), многие полупроводники (например, GeTe,  $T_K=0,17\text{K}$ ). В 80х годах 20го века открыты высокотемпературные оксидные сверхпроводники (VBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> и др.) с  $T_K=100\text{K}$ .

В настоящее время все вещества, переходящие в сверхпроводящее состояние условно разделяют на две большие группы: низкотемпературные и высокотемпературные сверхпроводники. К низкотемпературным сверхпроводникам относят сверхпроводники, у которых  $T_K=25\text{K}$ . К таким сверхпроводникам относятся некоторые металлы и сплавы, ряд полупроводников и интерметаллических соединений типа NbN, TaC. В 1986 были открыты высокотемпературные сверхпроводники, у которых  $T_K$  выше температуры жидкого азота, равной 77 К. К ним относятся сложные соединения — керамика на основе оксида меди (например, Tl<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> с  $T_K=127\text{K}$ ) и другие оксидные сверхпроводники.

Все известные в настоящее время высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) являются оксидами, большинство из которых содержат медь, но имеются также и соединения без меди. Любопытно, что сероводород является самым высокотемпературным сверхпроводником из известных на данный момент, при температуре 203 К (-70 °С) и давлении 100 ГПа (около 1 миллиона атмосфер). [4]

Кроме этого, новые материалы для сверхпроводимости являются оксидной керамикой, которые имеют свойства близкие к полупроводникам или даже к диэлектрикам, хотя до этого никак не могли предполагать, что данные вещества проявят свойства сверхпроводников [1].

Наиболее распространенными являются лантановая керамика (La<sub>1-x</sub>Ba)<sub>2</sub>CuO<sub>1-y</sub> с  $T_K=56\text{K}$ , иттриевая керамика на основе Y-Ba-Cu-O с  $T_K=91\text{K}$ , висмутовая керамика на основе Bi-Sr-Ca-O с  $T_K=115\text{K}$ , таллиевая керамика на

основе  $\text{Tl-Ba-Ca-Cu-O}$  с  $T_k=119$  К, ртутная керамика  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$  с  $T_k=135$  К. [2]

Применение сверхпроводников весьма разнообразно. С их помощью можно получить большие токи, используя источник, который имеет небольшое напряжение. При этом практически отсутствуют потери на джоулево тепло, что позволяет использовать сверхпроводник в измерительных приборах. Так, чувствительность гальванометра, имеющего рамку из сверхпроводника, очень велика ( $\sim 10-12$ В). В настоящее время из-за наличия сопротивления подводящих проводов потери электроэнергии составляют 30–40%. Если бы стало возможным передавать электроэнергию по сверхпроводящим проводам, то потери на джоулево тепло отсутствовали, что стало бы равносильно увеличению выработки электричества на треть. На основе сверхпроводников можно было бы изготавливать генераторы и электродвигатели с гораздо более высоким КПД, чем существующие сейчас. Сильноточные технологии, которые предназначаются для устройств больших мощностей, применяются в электроэнергетике, промышленности и на транспорте. В этих отраслях сверхпроводниковые технологии ведут к созданию электрооборудования в 2–3 раза меньшей массы, более экологичного, более надежного с большим сроком эксплуатации. Предполагается, что в электроэнергетике будет происходить постепенная замена традиционного резисторного оборудования на более дешевое и компактное сверхпроводниковое оборудование, которое существенно выше по надежности и эффективности. [5]

Применение ВТСП в сильноточной технике будет иметь наиболее радикальные экономические последствия. Это направление включает в себя создание электроэнергетических устройств и систем, вырабатывающих, передающих и преобразующих электроэнергию в промышленных масштабах. Основой этого направления является способность сверхпроводников нести без потерь высокие плотности ( $10^9-10^{10}$ А/м<sup>2</sup>) транспортного тока в сильных магнитных полях при температурах ниже критической. Таким образом, при передаче по кабельным линиям электропередач мощностей свыше 20 млн. кВт

на расстояние свыше 2000 км ожидается снижение электрических потерь на 10%, что соответствует сбережению от 7 до 10 млн. т.у.т. в год. При этом приведенные затраты на сверхпроводящую кабельную ЛЭП могут быть не больше, чем на высоковольтную ЛЭП традиционного исполнения.[6]

Создание магнитов для Большого адронного коллайдера (ЛHC) является в настоящее время самым масштабным использованием сверхпроводников, поскольку для этого потребовалось изготовить ~ 1400 тонн проводника, в котором ~400 тонн приходится на Nb-Ti сплав. Экспериментальные провода диаметром 1,065 мм с диаметром волокон 12 мкм были изготовлены в рамках исследовательской программы ЛHC – Большого адронного коллайдера, который работает при температуре сверхтекучего гелия (1,9 К).

Явление сверхпроводимости является одним самых сложных в физике твердого тела. Однако это не помешало им стать одним из приоритетных направлений в науке XX века. Благодаря своим уникальным свойствам сверхпроводники получили широкое распространение не только в сфере энергетики, но и в медицине, транспорте, IT-технологиях.

#### Литература:

1. Гинзбург В.Л., Андрюшин Е.А. Сверхпроводимость. — М.: Педагогика, 1990. – 112 с.
2. Энциклопедический словарь «Академик» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dic.academic.ru> , свободный
3. Электротехнический портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://xn----8sbnaarbiedfksmiphlmncm1d9b0i.xn--p1ai> , свободный
4. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org> , свободный
5. Автор24 - интернет-биржа [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://author24.ru> – Загл. с экрана.
6. Русский сверхпроводник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rhsc.ru>, свободный