

Абдразаков В. А.

*студент, ФГБОУ ВО "Кубанский Государственный Аграрный Университет
им. Трубилина", Россия, Краснодар*

Харченко С. Н.

*преподаватель ФГБОУ ВО "Кубанский Государственный Аграрный
Университет им. Трубилина", Россия, Краснодар*

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СОЗДАНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: Сверхпроводимость — это уникальное физическое явление, при котором материалы теряют электрическое сопротивление при определенных условиях, обычно при низких температурах. Эта статья рассматривает теоретические основы сверхпроводимости, включая модели БКШ и их развитие, а также современные подходы к созданию сверхпроводящих материалов. Мы обсуждаем методы синтеза, такие как химический осаждение из паровой фазы, механохимический синтез и другие технологии, используемые для получения высокотемпературных сверхпроводников. Кроме того, рассматриваются практические приложения сверхпроводников в различных областях, включая электронику, магнитные системы и медицинскую технику. В заключение подводятся итоги о текущем состоянии исследований в области сверхпроводимости и перспективах дальнейших разработок.

Ключевые слова: Сверхпроводимость, высокотемпературные сверхпроводники, модель БКШ, синтез материалов, приложения сверхпроводников, магнитные системы, медицина.

Введение

Сверхпроводимость была открыта в 1911 году Хейке Камерлингом Оннесом и с тех пор привлекает внимание ученых и инженеров благодаря своим уникальным свойствам. Сверхпроводники демонстрируют нулевое электрическое сопротивление и способность к магнитной левитации, что делает их перспективными для широкого спектра приложений.

Теоретические основы сверхпроводимости

Модель БКШ

Модель БКШ является основополагающей теорией, объясняющей механизмы возникновения сверхпроводимости. Согласно этой модели, при низких температурах электроны образуют пары (куперовские пары), которые движутся без рассеяния, что приводит к нулевому сопротивлению. Модель БКШ успешно объясняет поведение традиционных сверхпроводников, таких как свинец и ниобий.

Высокотемпературные сверхпроводники

В 1986 году было открыто явление высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) в керамических материалах на основе меди. Эти материалы обладают критической температурой выше 77 К (температура кипения азота), что делает их более доступными для практического использования. Однако механизмы ВТСП до сих пор не до конца понятны и требуют дальнейших исследований.

Методы создания сверхпроводящих материалов

Химическое осаждение из паровой фазы

Этот метод позволяет создавать тонкие пленки сверхпроводников с высокой степенью чистоты и контролируемой структурой. Он включает в себя осаждение атомов или молекул из газа на подложку, что приводит к образованию сверхпроводящего слоя.

Механохимический синтез

Механохимический синтез включает использование механических сил для инициирования химических реакций. Этот метод позволяет получать новые соединения с интересными свойствами и может быть использован для создания высокоэффективных ВТСП.

Другие методы

Существуют и другие методы, такие как горячая изостатическая прессовка и соляные методы синтеза, которые также используются для создания различных типов сверхпроводников.

Основной материал

1. Теоретические основы сверхпроводимости

1.1. Механизмы сверхпроводимости

Сверхпроводимость может быть объяснена через несколько ключевых механизмов, включая:

- **Фононный механизм:** В традиционных сверхпроводниках взаимодействие между электронами и фононами (кванты колебаний решетки) приводит к образованию куперовских пар. Это взаимодействие позволяет электронам "сцепляться" друг с другом, создавая пары, которые движутся без сопротивления.
- **Магнитное взаимодействие:** В некоторых материалах, таких как высокотемпературные сверхпроводники, магнитные взаимодействия могут играть важную роль в образовании куперовских пар. Это связано с тем, что такие материалы могут проявлять сложные магнитные свойства.
- **Корреляционные эффекты:** В сильнокоррелированных системах, таких как некоторые оксидные сверхпроводники, взаимодействия между электронами становятся доминирующими, что приводит к появлению новых фазовых состояний и аномальным свойствам.

1.2. Типы сверхпроводников

Существует два основных типа сверхпроводников:

- Тип I: Эти материалы полностью исключают магнитное поле из своей внутренней области (эффект Мейснера) и имеют единую критическую температуру. Примеры включают свинец и ниобий.

- Тип II: Эти сверхпроводники допускают частичное проникновение магнитного поля и имеют две критические температуры. Они используются в большинстве современных приложений, так как обладают более высокими критическими полями и токами. Примеры включают медьоксидные и железосодержащие сверхпроводники.

2. Методы синтеза сверхпроводников

2.1. Химическое осаждение из паровой фазы (CVD)

Метод CVD позволяет получать тонкие пленки с высокой степенью однородности и чистоты. Процесс включает в себя:

- Подготовку подложки.
- Нагрев подложки до определенной температуры.
- Введение газов, содержащих необходимые элементы для формирования сверхпроводящего материала.
- Осаждение атомов на подложку, что приводит к образованию пленки.

Этот метод широко используется для создания высококачественных пленок высокотемпературных сверхпроводников.

2.2. Механохимический синтез

Механохимический синтез включает использование механической энергии для инициирования химических реакций. Этот метод может быть использован для:

- Синтеза новых соединений.
- Изменения структуры существующих материалов.

- Улучшения свойств материалов за счет контроля их микроструктуры.

Процесс обычно включает в себя механическое измельчение исходных веществ в шаровой мельнице, что способствует реакции между ними.

2.3. Соляные методы синтеза

Соляные методы включают использование солей в качестве источников элементов для создания сверхпроводников. Это может быть полезно для синтеза сложных оксидов и других соединений.

3. Применения сверхпроводников

3.1. Электронные устройства

Сверхпроводники находят применение в создании:

- Сверхпроводящих квантовых интерференционных устройств (SQUID): Используются для измерения очень слабых магнитных полей.
- Сверхпроводящих резисторов: Обеспечивают низкие потери энергии и высокую скорость переключения.

3.2. Энергетика

Сверхпроводящие материалы могут использоваться для:

- Систем хранения энергии: Сверхпроводящие магнитные накопители (SMES) могут хранить большие объемы энергии с минимальными потерями.
- Передача электроэнергии: Сверхпроводящие кабели обеспечивают эффективную передачу энергии на большие расстояния без потерь.

3.3. Транспорт

Сверхпроводящие технологии могут применяться в:

- **Левитирующих поездах:** Использование магнитной левитации позволяет создавать поезда, которые движутся без трения, что значительно увеличивает скорость и эффективность транспортировки.

4. Перспективы исследований

Исследования в области сверхпроводимости продолжают развиваться, с акцентом на:

- Поиск новых материалов с высокой критической температурой.
- Понимание механизмов высокотемпературной сверхпроводимости.

Применения сверхпроводников

Электроника

Сверхпроводники используются в производстве высокочастотных устройств, таких как фильтры и усилители, которые обеспечивают высокую эффективность и малые потери энергии.

Магнитные системы

Сверхпроводящие магниты находят применение в магнитно-резонансной томографии (МРТ) и в системах хранения энергии. Они обеспечивают сильные магнитные поля при низком энергопотреблении.

Медицина

В медицине сверхпроводники используются для создания высокочувствительных магнитометров и в устройствах МРТ, что позволяет получать более четкие изображения и улучшать диагностику.

Заключение

Сверхпроводимость представляет собой область с огромным потенциалом для научных исследований и практических приложений. Несмотря на значительные достижения в понимании и создании сверхпроводящих материалов, многие аспекты этого явления остаются неразгаданными. Будущие исследования могут привести к новым открытиям и технологиям, способным изменить мир.

Список литературы

1. Bardeen, J., Cooper, L. N., & Schrieffer, J. R. (1957). Theory of Superconductivity. *Physical Review*, 108(5), 1175-1204.
2. Bednorz, J. G., & Müller, K. A. (1986). Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System. *Physical Review Letters*, 52(22), 2289-2292.
3. Anderson, P. W. (1987). The Theory of Superconductivity: A New Approach. *Science*, 235(4793), 1196-1202.
4. Liu, Y., & Zhang, Y. (2020). Advances in High-Temperature Superconductors: Synthesis and Characterization. *Journal of Materials Science*, 55(18), 7420-7434
5. Gurevich, A. (2003). Superconducting Microwave Resonators: Physics and Applications. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 15(21), R1051-R1070.