

«Сейфуллин оқулары – 18: « Жастар және ғылым – болашаққа көзқарас» халықаралық ғылыми -практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18: « Молодежь и наука – взгляд в будущее» - 2022.- Т.І, Ч.VI. – С.14-17

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

*Джусупова А.А., магистрант 2 курса
Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан*

В работе приведен обзор методов получения и свойств высокотемпературного сверхпроводника состава Bi-2223 . В качестве методов были рассмотрены методы «порошок в трубе» и расплавные методы. Изложены технологические процессы получения сверхпроводника вышеуказанными методами, и их преимущества и недостатки. На основе обзора, анализа и сравнения данных методов автор выбирает и обосновывает выбранный им метод для своего исследования.

Ключевые слова: высокотемпературный сверхпроводник, Bi-2223 , частичное плавление, объемная керамика.

Введение. Благодаря ряду преимуществ Bi- содержащих купратов, как высокая температура сверхпроводящего перехода, стабильный состав, низкая стоимость исходных веществ - эта группа сверхпроводящих материалов перспективна для промышленного применения в сверхпроводящих изделиях (кабелях, лентах, токоотвода и другое) второго поколения. Дальнейшее практическое их использование, предполагается на основе повышения критического тока сверхпроводящего перехода. Основными методами повышения критического тока в поликристаллических материалах являются метод «порошок в трубе» и расплавные методы. Одним из разновидностей расплавных методов является стеклокристаллический метод, который используются для получения массивных поликристаллических материалов, имеющий высокую плотность и текстуру частиц.

Основная часть.

Для повышения токонесущей характеристики высокотемпературного сверхпроводника на основе висмутовой системы были рассмотрены метод порошок в трубе и расплавный метод.

Рассмотрим, технологический процесс в методе «порошок в трубке» (рис.1). Сначала готовят исходный порошок прекурсоров, затем заполняют им металлическую трубку, как правило, из серебра, так как при высоких температурах только оно слабо взаимодействует с керамикой. При определенных условиях температуры, одна или, несколько металлических трубок заготовок, деформируются. Деформация металлической трубки выполняется как путем волочения, так и путем прокатки. В зависимости от

способа деформации на выходе получается длинный кусок многожильной заготовки в виде проволоки или ленты.[2]

Преимущество метода «порошок в трубке» позволяет значительно увеличить плотность критического тока сверхпроводника, создавая четкую текстуру, уменьшая долю слабых связей и увеличивая плотность сильных центров пиннинга.

Данный метод имеет ряд недостатков. Связь керамики с серебряной оболочкой неоднородна и имеет волнистую форму в продольном сечении, хотя относительно нерентабельно для ВТСП керамики на основе висмута и иттрия. При высоких температурах может происходить ползучесть серебра, что приводит к тому, что площадь поперечного сечения сверхпроводника окажется неравномерной по длине, и таким образом, переход от перегрузок по току ограничивается самой тонкой частью ядра сверхпроводника. Кроме того, в образцах объемной керамики, подвергнутых взрывному компактированию, не обнаружена острая кубическая текстура, что также делает практически непригодным применение метода «порошок в трубе» для получения объемной сверхпроводящей керамики с высокой токонесущей способностью [4]. Во время деформации металлической трубки с порошком в керамике могут образоваться трещины, которые из-за ухудшения связности зерен керамики приведут к снижению токонесущей способности.[1]

Таким образом, на наш взгляд основным недостатком, в рассмотренном методе «порошок в трубе» являются сложности в получении объемных и больших заготовок керамики, имеются ограничения на возможность формирования структуры и контроля деформации. Исходя из вышеуказанного недостатка, данный метод не подходит для повышения критического тока в объемной сверхпроводимой керамике, которая является нашей целью исследования.

На данный момент существует ряд методов обработки керамики ВТСП, основанные на полном или частичном плавлении. Путем кристаллизации из жидкости получают объемные заготовки с четкой текстурой. Это достигается различными способами: быстрым нагревом в однофазную жидкую область или двухфазную жидкую область с последующим охлаждением (melt-textured growth), приложением внешнего магнитного поля во время кристаллизации расплава, зонным плавлением, в том числе с помощью движущегося лазерного луча, а также дополнительная передача электрического тока через образец во время зонного лазерного плавления и т.д.

Расплавный метод имеет некоторые преимущества перед методом «порошок в трубе» так как предоставляет более широкие возможности формирования требуемой морфологии, текстуры и иных по сравнению с методом порошок в трубке реакцией образования целевого материала. Направленное воздействие на расплав и закалка метастабильных фаз могут изменять характер и кинетику межфазных реакций образования целевых сверхпроводящих фаз [5]. Расплавное текстурирование, как правило, производят за счет медленного охлаждения керамики. Оно может быть как

направленным (с градиентом температур), так и ненаправленным (без градиента температур), производится с перемещением и без перемещения образца керамики, а также путем выращивания кристаллов на затравке.

При частичном плавлении и последующей кристаллизации (неориентированное расплавленное текстурирование) возможно текстурировать керамику Bi-2212 в серебряной оболочке. Как правило, в керамике, полученной методом плавки, зерна имеют относительно большие размеры. Зерна могут быть слабосвязанными, что может оказаться причиной низких сверхпроводящих свойств даже при наличии острой кубической текстуры, поскольку между зернами может находиться тонкий слой или частицы посторонних фаз. Деконструкция частиц может привести к снижению сверхпроводящих свойств. Также возможно получение объемных заготовок сверхпроводящей керамики методами плавки [6].

Одним из наиболее распространенных методов направленного текстурирования расплава является ленточное плавление. Благодаря процессу зонной плавки со смещением печи можно достичь критической плотности тока порядка 10^4 А/см^2 в керамике Y123 . В дополнение к перемещению печи плавление керамики также осуществляется путем перемещения лазерного луча, который плавит сверхпроводящую керамику.

При помощи воздействия сильного магнитного поля на этапе расплавной обработки возможно повысить остроту текстуры. Так, например, в исследовании был представлен результат синтеза керамики Bi (Pb)2212 во внешнем поле 9 Тл в сочетании с расплавной обработкой. На полученных дифрактограммах обнаружено, что в результате расплавной обработки во внешнем поле пики плоскостей (001) существенно выше по сравнению с расплавной обработкой без поля. Из этого следует, что внешнее поле обеспечило направленный рост зерен фазы Bi (Pb)2212 с ориентировкой оси вдоль приложенного внешнего магнитного поля, что было подтверждено изображениями микроструктуры. В образцах были обнаружены микропоры с линейным размером порядка 100 мкм , которые удалось устранить двухэтапной расплавной обработкой [2].

Основным недостатком метода плавления является то, что для того, чтобы сверхпроводящие заготовки были достаточно большими для их практического использования, им приходится тратить много времени, потому что темпы роста плавильной ВТСП керамики низкие. Скорость роста Bi (Pb) 2223 в керамике низкая из-за формирования фазы, особенно во время медленной перитектической реакции. Поле равновесия фазы Bi (Pb) 2223 в диаграмме состояния очень узкое, поэтому самый большой монокристалл Bi (Pb)2223 , который может быть получен в настоящее время, может достигать максимального линейного размера около 10 мм , что в основном приемлемо для исследовательских задач [5].

Во время процесса плавления керамика может образовывать большие дефекты в виде пузырьков. Они могут привести не только к значительному снижению пропускной способности тока, но и к полному блокированию избыточного тока. Исследование, в ходе которого была изучена обработка

керамики длиной Bi-2212 методом литья, показало, что такие дефекты могут иметь размеры 1-2 мм и достигать всей длины изделия. Причина появления пузырьков заключается в том, что в процессе термической обработки газы вторгаются в объем керамики, после чего оболочка длинного изделия может смещаться. Согласно тому же исследованию, образовавшиеся пузырьки могут вызвать микротрещины, что снижает несущую способность полученной сверхпроводящей керамики [3].

Наш анализ расплавного метода показал, что он позволяет создавать более объемные сверхпроводимые керамики по сравнению с методом «порошок в трубе». Данный метод будет использован для получения объемной сверхпроводимой керамики, так как благодаря ему можно достичь направленной кристаллизации частиц по направлению теплоотвода и сильной ориентации для повышения высокого критического тока [7].

На основе анализа и сравнения метода «порошок в трубе» и расплавного метода можно утверждать, что в обоих методах возможно достижение высоких транспортных токов в поликристаллических ВТСП материалах. В методе «порошок в трубе» возможно достичь повышенных токов в поликристаллических материалах с размером в двух координатах, а в третьем направлении ограничивается размер. Данный метод не может быть использован в нашем исследовании, так как более большим размерам значительно трудно достичь высокой текстуры частиц, т.е. взаимной ориентации расположения частиц. Что касается расплавного метода, то на его основе возможно получение высокой текстуры за счет направленной кристаллизации. При этом можно получить объемную ВТСП- керамику в трехмерном объеме, но длинномерных изделий как в методе «порошок в трубе» невозможно. Связи с этим в зависимости от области применения объемной сверхпроводимой керамики можно использовать оба метода.

Список использованной литературы

1. Jiang J, et al. Evolution of core density of Ag-Clad Bi-2223 tapes during process. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 2001; 11(3):3561-3564.
2. Kitaguchi H, Kumakura H. Advances in Bi-Based High-Tc superconducting tapes and wires. *MRS BULLETIN* 2001 February.
3. Caillard R, Gomina M. Influences of sinter-forging parameters and texture on the critical transport current density of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O (2223) superconductors. *Superconductor Science and Technology* 2001; 14(9):712-716.
4. Feng Y, et al. Microstructural analysis of high critical current density Ag-clad Bi-Sr-Ca-Cu-O (2:2:1:2) tapes. *Physica C*. 1992; 192(34):293305.
5. Majewski P. Phase diagram studies in the system Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O-Ag. *Superconductor Science and Technology*. 1997; 10:453-467.
6. Xia SK, Lisboa MB, Serra ET, Rizzo F. Continuous cooling sintering: a new method for Bi-2223/Ag tape processing. *Physica C*. 2001; 354(14):463-466.
7. Uskenbayev D.E., Nogay A.S., Aynakulov E.B. Properties of Bismuth-Based Superconductors Precursors obtained under the influence of the Radiant

Flux. Journal “Materials Science and Engineering” IOP Conferens Series. 2016. V. 110, №1, P.12030-12035(6).WebofScience, Scopus(Q 3, Процентиль – 25%). (DOI: 10.1088/1757-899X/110/1/012030).