Uzbek Journal of Physics

Vol.22(№1) 2020 PP.52-55

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ВТСП

Б.И. Хамдамов, Н.А. Тайланов, И. Нуритдинов

Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан
(Получена 18.02.2019)

Мақолада ВТСП намуна сиртидаги магнит майдон индукцияси магнитоптик метод орқали визуал равишда ўрганилган. Кучсиз ташқи магнит майдонда оқимнинг намунага кириши жуда қийин ва риннинг эффекти кам бўлади.

В данной работе изучена визуализация картины магнитного потока на поверхности и вокруг ВТСП с помощью магнитооптической методики высокого разрешения. В малых полях поток легко проникает в межгранульную среду, но слабо захватывается в ней. Большие магнитные поля проникают в гранулы и там сильно захватываются.

The paper is devoted to investigation of magnetization on the surface of HTSC by the magnet optical method. It has been shown that in a week external magnetic field flow easily may enter inside the superconducting interstitial matter, but a weak pinning effect is observed.

Введение. Исследованные пленки и монокристаллы демонстрируют существенную неоднородность сверхпроводящих свойств при взаимодействии с внешним полем. В пленках обнаружено два типа дефектных областей, характеризующихся существенно меньшими значениями полей проникновения и сил захвата магнитного потока. Наряду с этим, в них существуют участки с высокими сверхпроводящими свойствами, которые обладают максимальными значениями полей первоначального проникновения, а при перемагничивании ведут себя по-разному в зависимости от максимальной величины приложенного перед этим поля. Если это поле было меньше некоторой величины H_{max}, то в поле противоположного направления индикаторная пленка над этими участками размагничивается раньше, чем вокруг них, а если больше, то магнитный поток выходит из этих участков в последнюю очередь [1-8].

Принципиально важным экспериментальным результатом для оценки качества сверхпроводящих материалов является впервые обнаруженное явление изменения характера перемагничивания в зависимости от величины первоначально приложенного поля [1]. В экспериментальных исследованиях магнитных свойств ВТСП используются традиционные методики. Однако они в большинстве случаев не позволяют изучать локальные магнитные характеристики ВТСП.

Целью работы является развитие магнитооптической методики высокого разрешения для визуализации картины магнитного потока на поверхности и вокруг ВТСП, а также проведение экспериментальных и теоретических исследований магнитных параметров ВТСП материалов в широком интервале температур и магнитных полей.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 приведены характерные магнитооптические картины неоднородных магнитных состояний индикаторной пленки, совмещенной с пленкой ВТСП, во внешнем магнитном попе,

перпендикулярном ее поверхности. При охлаждении пленки и индикатора до T = 35 К в отсутствие поля в последнем реализуется лабиринтная ДС с шириной доменов ~10 мкм, типичная для одноосных феррогранатовых пленок. При приложении небольшого внешнего поля ДС над поверхностью керамической пленки не изменяется, а вокруг нее происходит процесс намагничивания индикатора, в результате которого он переходит в однородно намагниченное состояние (черная область справа на рис. 1, картина 1), очерчивая край пленки.

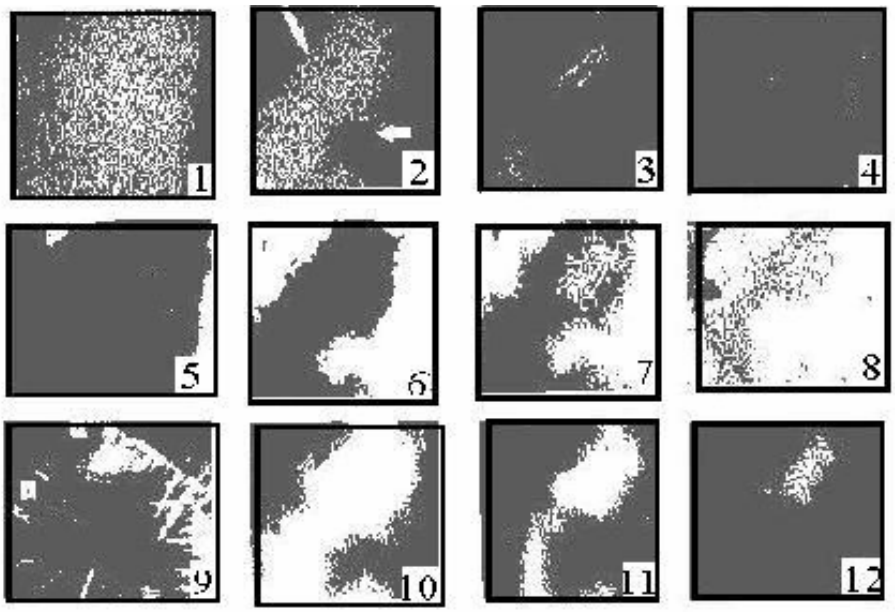


Рис. 1. Характерные магнитооптические картины неоднородных магнитных состояний индикаторной пленки, совмещенной с пленкой ВТСП, во внешнем магнитном поле, перпендикулярном ее поверхности (T = 35 К).

При дальнейшем увеличении поля начинается процесс намагничивания индикатора над пленкой, показанный на картинах 2-4, который отражает проникновение магнитного потока в сверхпроводник. По мере увеличения поля граница потока двигается от края во внутренние области пленки, причем скорость этого движения различна на разных участках. Во всех исследованных пленках имелись участки, в которые магнитный поток входил при существенно меньших значениях приложенного внешнего поля, чем в остальные области. В результате движения потока от краев пленки и из дефектных участков (направление движения указано стрелкой на картине 2) область экранировки уменьшается, разбивается на несколько отдельных областей, каждая из которых стягивается к участку наиболее сильной экранировки (картина 3). Здесь (картина 3) в поле зрения попадает один из таких участков, положение которого (недалеко от края пленки) явно не определяется конфигурацией полей рассеяния образца. В поле H = +185 Э ДС исчезает (картина 4), т.е. среднее значение магнитной индукции в пленке становится больше намагниченности насыщения индикатора $4\pi M_s$. При дальнейшем увеличении поля до 240 Э картина не меняется.

При сбросе магнитного поля (картина 5) в пленку захватывается магнитный поток, который поддерживает индикатор в намагниченном состоянии (черная область) и, замыкаясь вокруг керамики, перемагничивает там индикаторную пленку в противоположном направлении. Вокруг пленки образуется белый ореол, очерчивающий контуры (сравнить картины 1 и 5). Отметим, что после выключения поля никогда не наблюдается выход магнитного потока из областей вдоль края образца, как это имеет место в однородных сверхпроводниках второго рода [2].

Захваченный в пленке поток замыкается не только вокруг нее, но и проникает через отдельные участки внутри пленки, предварительно вытесняя из них магнитный поток первоначального направления. Индикаторная пленка над этими участками перемагничивается в направлении, обратном направлению захваченного потока, и таким образом выявляет их на магнитооптических картинах (белый участок в верхней части картины 5). Сравнение картин 5, 6 с 1, 2 показывает, что участки, из которых легко вытесняется захваченный поток, совпадают с дефектными участками, в которые легко проникает магнитное поле.

При дальнейшем росте отрицательного поля область с захваченным магнитным потоком продолжает сужаться и разбивается на домены (картина 8), что свидетельствует об уменьшении средней магнитной индукции до величины $-4\pi M_s < B < 4\pi M_s$. В полях $H > -185$ Э индикаторная пленка насыщается, т.е. отрицательная магнитная индукция в образце по абсолютной величине превышает $4\pi M_s$.

При приложении поля в положительном направлении область с захваченным магнитным потоком сужается (картины 10, 11) и, в последнюю очередь, он выталкивается из участка, где при предыдущем перемагничивании возникал участок с лабиринтным ДС и где наблюдалась самая сильная экранировка при первоначальном проникновении поля (сравн. картины 12, 7 и 3). На примере этого участка видно, что магнитные потоки, проникающие в пленку в небольших внешних полях, легко выходят из нее, а проникающие в больших полях потоки сильно захватываются. Такая же картина вытеснения потока, как на картинах 9-12, наблюдалась при перемагничивании пленки после захвата магнитного потока путем охлаждения ниже T_c в небольшом внешнем поле.

Таким образом, исследованные пленки и монокристаллы демонстрируют существенную неоднородность сверхпроводящих свойств при взаимодействии с внешним полем. В пленках обнаружено два типа дефектных областей, характеризующихся существенно меньшими, по сравнению с основной частью, значениями полей проникновения и сил захвата магнитного потока. Наряду с этим, в них существуют участки с высокими сверхпроводящими свойствами, которые обладают максимальными значениями полей первоначального проникновения, а при перемагничивании ведут себя по-разному в зависимости от максимальной величины приложенного перед этим поля. Если это поле было меньше некоторой величины $H_{\max}$, то в поле противоположного направления индикаторная пленка над этими участками размагничивается раньше, чем вокруг них, а при больших $H_{\max}$ полях магнитный поток выходит из этих участков в последнюю очередь.

Весь комплекс приведенных экспериментальных фактов свидетельствует в пользу модели керамики, состоящей из сверхпроводящих гранул, объединенных слабыми связями. В малых полях поток легко проникает в межгранульную среду, но слабо захватывается в ней. Большие магнитные поля проникают в гранулы и там

сильно захватываются. Следует акцентировать внимание на следующем обстоятельстве, очевидном из проведенного выше анализа экспериментальных результатов. Для выявления эффектов, связанных с наличием джозефсоновской среды в керамике, необходимы большие магнитные поля $H>H_{c1}$. Методики, ограниченные областью полей $<H_{c1}$ [3-8], позволяют видеть обратимый вход-выход магнитного потока в монокристаллах керамики, однако не дают возможности изучать физику неоднородных сверхпроводящих состояний в этих материалах.

Заключение. Таким образом, использована магнитооптическая методика высокого разрешения для визуализации картины магнитного потока на поверхности и вокруг ВТСП, а также проведены экспериментальные и теоретические исследования магнитных параметров ВТСП материалов в широком интервале температур и магнитных полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Г. Барьяхтар и др., Письма в ЖЭТФ **46**, 168-171 (1987).
2. J.W. Ekin, A.I. Braginski, A.J. Panson, J. Appl. Phys. **62**, No 12, 4821-4828 (1987).
3. D.C. Larbalestier, M. Daeumbing, X. Cai, J. Appl. Phys. **62**, No 8, 3308-3313 (1987).
4. Э.Б. Сонин, Письма в ЖЭТФ **47**, No 8, 415-418 (1988).
5. K.A. Mul1er, K.W. B1azey, J.G. Bednorz, and M. Takashige, Physica B **148**, 149-154 (1987).
6. G. Dentscher, K.A. Muller, Phys. Rev. Lett. **59**, No 15, 1745-1747 (1987).
7. S. Senoussi, M. Oussena, G. Collin, Phys. Rev. B **37**, No 16, 9792-9795 (1988).
8. C.P. Bean, Rev. Mod. Phys. **36**, No 1, 31-39 (1964).