

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ВТСП

ХАМДАМОВ Бегали Исроилович

кандидат физико-математических наук, доцент

ГАППАРОВ Бехзод Нематиллаевич

старший преподаватель

Джизакский политехнический институт

г. Джизак, Узбекистан

В данной статье изучено развитие магнитооптической методики 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.

Ключевые слова: визуализация, эффект Мейсснера, магнитные поля, индикаторная пленка, сверхпроводящие свойства, температура, поля проникновения, монокристаллы, индикатор, величина.

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 прикладывавшегося 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 $H_{\max} > H_{\max}^*$ магнитный поток выходит из этих участков в последнюю очередь.

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 традици-

онные 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 обсуждения. На рисунке 1 приведены характерные магнитооптические картины неоднородных магнитных состояний индикаторной пленки, совмещенной с пленкой, во внешнем магнитном поле, 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 (рисунке 1.1.) 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 рисунке 1.1), очерчивая край пленки.

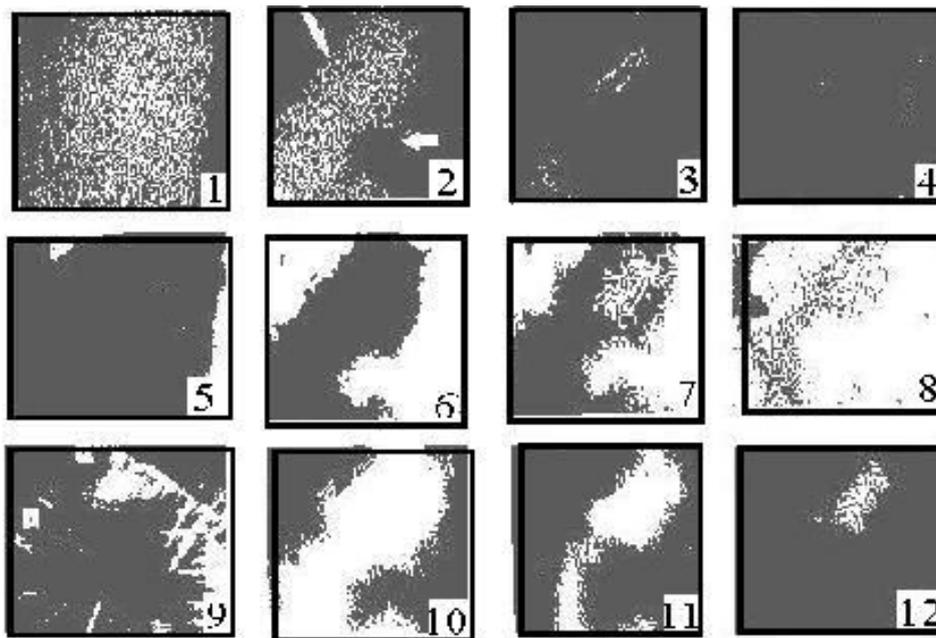


Рисунок 1. Характерные магнитооптические картины неоднородных магнитных состояний индикаторной пленки, совмещенной с пленкой ВТСП, во внешнем магнитном поле, перпендикулярном ее поверхности ($T = 35 \text{ K}$)

При дальнейшем увеличении поля начинается процесс намагничивания индикатора над пленкой, показанный на рисунках 1.2-1.4, который отражает проникновение магнитного потока в сверхпроводник. По мере увеличения поля граница потока движется от края во внутренние области пленки, причем скорость этого движения различна в 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 стрелками на рисунке 1.2) область экранировки уменьшается, разбивается на несколько отдельных областей, каждая из которых стягивается к участку наиболее сильной экранировки (рисунок 1.3). В поле зрения рисунка 1.3 попадает один из таких участков, положение которого (недалеко от края пленки) явно не определяется конфигурацией полей рассеяния образца. В поле $H = +185 \text{ Э ДС}$ исчезает (рисунок 1.4), т. е. среднее значение магнитной индукции в пленке становится больше намагниченности насыщения индикатора $4\mu\text{M}_s$. При дальнейшем увеличении поля

до 240 Э картина не меняется.

При сбросе магнитного поля (рисунок 1.5) в пленке 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 ее контуры (сравн. рисунки 1.1 и 1.5). 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 [4].

Захваченный в пленке поток замыкается не только вокруг нее, но и 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 рисунок 1.5). Сравнение рисунков 1.5, 1.6 с рисунками 1.1, 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 (рисунок 1.8), что свидетельствует об уменьшении средней магнитной индукции до величины $-4\pi M_8 < B < 4\pi M_s$. 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 (рисунки 1.10, 1.11) 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. рисунки 1.12, 1.7 и 1.3). На примере этого участка видно, что магнитные потоки, проникающие в пленку в небольших внешних полях, легко выходят из нее, а проникающие в больших полях – сильно захватываются. Такая же картина вытеснения потока, как на рисунках 1.9-1.12, 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 об-

ладают максимальными значениями полей первоначального проникновения, а при перемагничивании ведут себя по-разному в зависимости от максимальной величины прикладывавшегося 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 $H_{max} > H_{max}^*$ 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 керамики, необходимы большие магнитные поля $H > H_{c1}$. Методики, ограниченные областью полей $H \lesssim H_{c1}$ [3-8], позволяют видеть обратимый вход-выход магнитного потока в монокристаллах керамики, однако не дают возможности изучать физику неоднородных сверхпроводящих состояний в этих материалах.

Таким образом, изучено развитие магнитооптической методики высокого разрешения для визуализации картины магнитного потока на поверхности и вокруг ВТСП, а также проведено экспериментальных и теоретических исследований магнитных параметров ВТСП материалов в широком интервале температур и магнитных полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Барьяхтар В.Г. и др. Особенности структур, сверхпроводимость и перколяционные эффекты в системе Y-Ba-Cu-O // Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 46, приложение. – С. 168-171.
2. Сонин Э.Б. Теория джозефсоновской среды в ВТСП: вихри и критические магнитные поля // Письма в ЖЭТФ, 1988, т. 47, в. 8. – С. 415-418.
3. Dentscher G., Muller K.A. Origin of superconductive glassy state and extrinsic critical currents in high-Tc oxides, Phys. Rev. Lett., 1987, v. 59, N 15, P. 1745-1747.
4. Ekin J.W., Braginski A.I., Panson A.J. Evidence for weak link and anisotropy limitations on the transport critical current in bulk polycrystalline Y1Ba2Cu3Ox, J. Appl. Phys., 1987, v. 62, N 12, P. 4821-4828.

5. *Larbalestier D.C., Daeumling M., Cai X.* Experiments concerning the connective nature of superconductivity in YBa₂Cu₃O₇, J. Appl. Phys. 1987, v. 62, N 8, P. 3308-3313.
6. *Muller K.A., Blazey K.W., Bednozz J.G., Takashige M.* Superconducting glassy state in high-T_c oxides, Physica, 1987, v. 148 B, P. 149-154.
7. *Senoussi S., Oussena M., Collin G.* Exponent H and T decay of the critical current density in YBa₂Cu₃O₇ single crystal, Phys. Rev. B, 1988, v. 37, N 16, P. 9792-9795.

EXPERIMENTAL STUDY OF MAGNETIZATION REVERSAL IN HTSC SINGLE CRYSTALS

HAMDAMOV Begali Isroilovich

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

GAPPAROV Behzod Nematillaevich

Senior Lecturer

Jizzakh Polytechnic Institute

Jizzakh, Uzbekistan

This article studies the development of a high-resolution magneto-optical technique for visualizing the magnetic flux pattern on the surface and around HTSCs, as well as experimental and theoretical studies of the magnetic parameters of HTSC materials in a wide range of temperatures and magnetic fields.

Key words: visualization, Meissner effect, magnetic fields, indicator film, superconducting properties, temperature, penetration fields, single crystals, indicator, magnitude.
