

Кинетика формирования бессиловых конфигураций, роль барьера и разрывности вихрей.

Успенская Л.С.,

Институт физики твердого тела РАН, 142432 Черноголовка, Московская обл, Россия

C.J. van der Beek, M. Konczykowski

Laboratoire des Solides Irradiés, Ecole Polytechnique, Route de Saclay, 91128 PALAISEAU, France

Bogdan Dabrowski

Department of Physics Northern Illinois University DeKalb, IL 60115 U.S.A.

Еще на классических сверхпроводниках было обнаружено усиление предельного транспортного тока, протекающего по сверхпроводнику, продольным магнитным полем [1-4]. Усиление тока в несколько раз имело место в материалах со слабым и сильным пиннингом, в проводах и тонких лентах. Основным объяснением этому явлению было предположение о геликоидальном протекании тока по сверхпроводнику (бессиловая конфигурация тока-поля). В такой конфигурации сила Лоренца не действует на вихри и, соответственно, не должно быть рассеяния энергии движущимися вихрями. Тогда естественным ограничением величины тока должно было быть либо ограничение продольного поля величиной второго критического поля H_{c2} , либо достижением током значения тока распаривания [5-7], что не соответствовало эксперименту [8].

Другое объяснение усиления тока проводилось в рамках усиления пиннинга круговых вихрей, возникших под действием протекающего тока, на перпендикулярных им вихрях, введенных продольным полем. Тогда именно дополнительная сила пиннинга определяет предел возрастания тока, протекающего вдоль провода. К сожалению, прямое наблюдение токовых траекторий или распределений вихрей не представлялось возможным, а убедительные аргументы и контраргументы находились в пользу обоих механизмов возрастания и ограничения тока. В этом смысле очень интересным представляется прямое наблюдение усиления тока продольным магнитным полем, выполненное с помощью магнитооптики [9], где было показано, что и без возникновения спиральной токовой структуры плоскостное поле значительно усиливает продольный ток, а также наблюдение вихревых твистеров, трактованных как трубки с усиленным током, окруженные спиральной вихревой структурой [10].

В данной работе с помощью магнитооптики изучено влияние плоскостного поля на проникновение перпендикулярного магнитного потока в широком классе ВТСП кристаллов, в недопированных и допированных монокристаллах $Bi2212$, монокристаллах $YBCO124$ и монокристаллах $YBCO123$ с $T_c = 60$ К и 93 К, а также в текстурированном плавлении $YBCO123$. В

использованном наборе кристаллов собственная анизотропия критических токов, J_c^{ab} / J_c^c , варьируется от 250 до 3. В основном эксперименты проводились с использованием первоначального охлаждения кристаллов в продольном поле H_{pl} . Изучались картины проникновения перпендикулярного магнитного потока H_z и профили его распределения, из которых извлекались соответствующие критические токи, а также измерялись общая и локальные релаксации магнитного потока и релаксация критических токов. Полученные результаты кратко можно суммировать следующим образом.

В текстурированных плавлением $YBCO123$ любое замороженное H_{pl} приводит к появлению анизотропии проникновения H_z , пропорциональной величине плоскостного поля, рис. 1. Однако наблюдается только увеличение глубины проникновения H_z вдоль H_{pl} и без уменьшения глубины проникновения в поперечном направлении, т.е. без усиления критического тока вдоль H_{pl} .

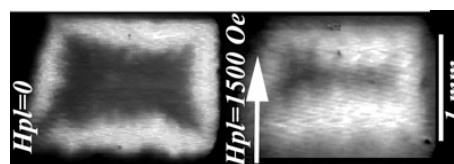


Рис. 1. Наведенная анизотропия тока в текстурированном композите $YBCO123$

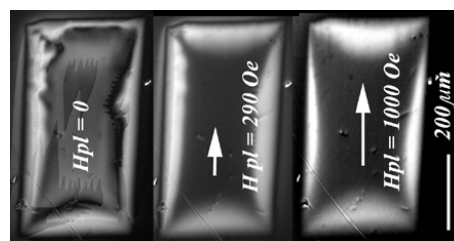


Рис. 2. То же - в монокристалле $YBCO123$.

В монокристаллах $YBCO123$ также наблюдается наведенная анизотропия, рис.2. При этом вдоль H_{pl} проникновение H_z становится глубже, а поперек пропорционально уменьшается, причем продольный ток на фронте потока действительно усиливается в несколько раз. Кроме того, вихри перестают чувствовать неоднородность в плотности

двойников, которая хорошо видна на проникновении H_z при отсутствии H_{pl} .

В монокристаллах $YBCO124$, где барьер на вход вихрей сравним с критическим током, влияние H_{pl} на проникновение H_z практически не наблюдается: перпендикулярный поток со всех сторон образцов проникает на одинаковую глубину с типичным Биновским профилем и большим скачком намагниченности вблизи краев кристаллов, рис. 3. Однако искусственное локальное понижение барьера приводит к тому, что поток проникающий в образец через эту точку становится зависящим от H_{pl} , а глубина его проникновения и экранирующий ток изменяются в зависимости от направления H_{pl} .

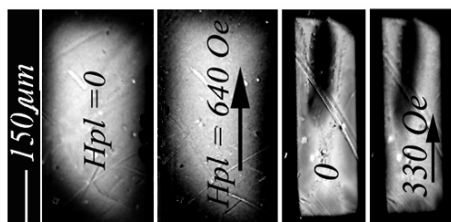


Рис. 3. $YBCO124$: наличие и отсутствие наведенной анизотропии в зависимости от величины барьера

Аналогичный результат был получен на висмутовых монокристаллах. Влияние поля в плоскости на проникновение перпендикулярного поля наблюдалось в этих материалах только в областях с пониженным барьером на вход вихрей. При этом наблюдалось также значительное усиление продольного тока и ослабление перпендикулярного тока [11], рис. 4, 5.

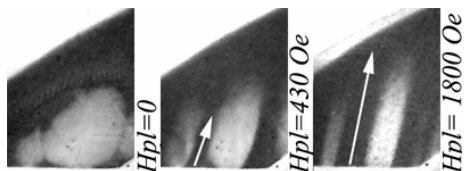


Рис. 4. Наведенная H_{pl} анизотропия проникновения H_z в допированном свинцом $Bi2212$ (показан фрагмент кристалла).

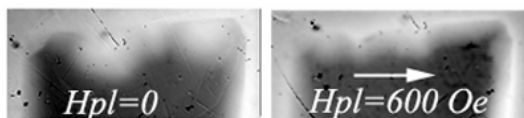


Рис. 5. Влияние H_{pl} на проникновение H_z в монокристалле $Bi2212$ (показан фрагмент кристалла).

Таким образом, установлено, что наведенная плоскостным полем анизотропия проникновения перпендикулярных вихрей наблюдается во всех сверхпроводниках при условии искусственного понижения поверхностного барьера на вход вихрей. Соответственно наблюдается усиление тока в направлении плоскостного поля и ослабление в перпендикулярном направлении.

Кроме того установлено, что плоскостное поле приводит к ускоренной релаксации распределения магнитного потока, причем значительно несимметричной. В результате релаксации в кристаллах устанавливается такая конфигурация магнитного потока, при которой усиление тока имеет место только на фронте перемагничивания.

И наконец, изучены условия и кинетика формирования твистерных конфигураций вихрей в скрещенных магнитных полях, рис.б.

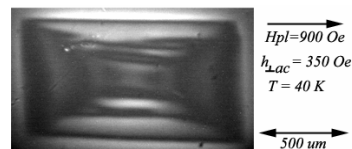


Рис.б. Твистеры в $YBCO123$: магнитная структура, сформировавшаяся в результате циклического переключения H_z при постоянном H_{pl}

Показано, что в отличие от наведенной плоскостным полем анизотропии, твистеры формируются только в кристаллах, где имеет место слабая разрывность вихрей в масштабе мезоразмеров систем и что вихревые «твистеры» появляются вследствие несимметричной релаксации магнитного потока (тока).

Работа выполнена в рамках Российской программы по сверхпроводимости (контракт 40.012.1.1.4356). Автор выражает благодарность А. Кулакову, И. Науменко и А. Бондаренко за выращивание совершенных монокристаллов, на которых были выполнены исследования.

1. P.Grassman, L.Rinderer, Helv. Phys. Acta, 27, 309 (1954)
2. S.T.Secura, R.W.Boom, C.J.Bergeron, Appl. Phys. Lett., 2, 102 (1963).
3. M.A.R. LeBlank, B.C.Belanger, M.R. Fielding, Phys. Rev. Lett., 14, 704 (1965)
4. W.C.H.Joiner, G.E.Kuhl, Phys. Rev., 168, 413 (1968)
5. C.J. Bergeron, Appl. Phys. Lett., 3, 63 (1963)
6. D.G. Wamsley, J.Phys.F, 2, 510 (1972)
7. J.R. Clem, Phys. Lett., 59A, 401 (1976)
8. J.R. Cave, J.E. Evetts, A.M. Campbell, Journ. De Phys., 39, c6-614 (1978)
9. M.-O. Andre, G.D'Anna, M. Indenbom, W. Benoit, 7th Intern. Workshop on Critical Currents in Supercond., p.276-279 (1994); M.-O. Andre, G.D'Anna, M. Indenbom, W. Benoit, Phys.C, 235, 2627 (1994)
10. M. V. Indenbom et al., Nature 385,702 (1997); G.D'Anna et al., Physica C 281, 278 (1997)
11. L.Uspenskaya, A.Kulakov, A. Rakhmanov Phys. Rev. B 68, 104506 (2003).