

05;12

Локальные измерения магнитных характеристик высокотемпературных сверхпроводниковых пленок

© Ю.Н. Пирогов, Е.А. Протасов

Московский инженерно-физический институт (Технический университет),
115409 Москва, Россия

(Поступило в Редакцию 15 ноября 1999 г.)

Представлена новая экспериментальная методика измерения магнитных характеристик пленок высокотемпературных сверхпроводников с использованием в измерительной схеме лазера, позволяющего проводить локальные измерения. Проведены измерения магнитных характеристик пленок ВТСП, результаты которых представляют научный и практический интерес.

В настоящее время магнитооптический метод исследования широко используется для изучения процессов проникновения и захвата магнитного потока в пленке высокотемпературного сверхпроводника. Принцип работы и схема поляризационно-оптического микроскопа описаны во многих работах [1–4].

Возможности такого метода в первую очередь зависят от выбора магнитооптической пленки. В первых работах использовались доменных пленки, в которых ось легкого намагничивания была направлена перпендикулярно плоскости пленки. Таким образом, возможно наблюдать только нормальную компоненту магнитной индукции. В дальнейшем стали использовать феррит-гранатовые пленки с анизотропией типа "легкая плоскость", ось легкого намагничивания в которых лежит в плоскости пленки или под некоторым малым углом. С помощью таких пленок возможно наблюдать как нормальную, так и тангенциальную компоненты магнитной индукции.

Магнитооптический метод позволил непосредственно наблюдать проникновение магнитного потока в образец, исследовать влияние дефектной структуры сверхпроводника на распределение и величину захваченного магнитного потока, исследовать распределение поверхностных токов. Однако для полного понимания влияния дефектов на процессы взаимодействия высокотемпературных сверхпроводников с магнитным полем необходимо произвести локальные измерения магнитных характеристик. В работах [5,6] для этого использовалась диафрагма, которая "вырезала" часть кратины, а измерения интенсивности света, взаимодействующего с магнитооптической пленкой и проходящего через диафрагму, проводились фотоприемником. Однако в этой схеме при уменьшении размеров области, в которой проводились измерения, за счет уменьшения диаметра диафрагмы снижается интенсивность света, попадающего на фотоприемник и, следовательно, ухудшается отношение сигнал/шум.

В данной работе предлагается несколько иной метод локальных измерений магнитных характеристик высокотемпературных сверхпроводников. Описываемая ниже установка имеет ряд преимуществ. В данной установке для измерений применяется дополнительный источник излучения — лазер. Для достижения хороших шумовых

характеристик достаточно He–Ne лазера мощностью несколько мW.

Кроме того, данная установка, позволяет настраивать луч лазера в необходимую область образца высокотемпературного сверхпроводника, непосредственно наблюдая настройку на экране монитора, причем контроль можно осуществлять в течение всего эксперимента.

Наконец, возможна фокусировка лазерного излучения, в результате чего размеры области, в которой проводятся измерения, могут достигать 15–20 μm .

Схема установки

Схема установки показана на рис. 1. Она состоит из азотного оптического криостата, магнитооптического визуализатора магнитных полей, фотоприемного устройства, а также измерителя температуры, источника магнитного поля и измерительной схемы. Пленка высокотемпературного сверхпроводника приклеивалась с помощью смазки Рамзая на хладопровод вакуумного азотного криостата. На магнитооптическую феррогранатовую пленку, выращенную на подложке из галлий-гадолиниевого граната, напылялся отражающий слой из серебра. Изготовленный таким образом магнитооптический преобразователь механически прижимался к пленке высокотемпературного сверхпроводника. В хладопроводе были смонтированы термометр и спираль нагревателя. Это позволяло регулировать и измерять температуру в широком диапазоне (77–300 К).

Оптическая часть установки состоит из источника белого света ОСВ-1 1, делительных кубиков 2, 15, поляризатора 3, полупрозрачного зеркала 4 и анализатора 5. Луч света, прошедший через входное окно 6 азотного криостата 7, дважды прошедший через магнитооптическую пленку 8 и отраженный от серебряного покрытия попадал на объектив 9, который формировал полное или частичное изображения магнитооптической пленки на матрице видеокамеры 10. Сигнал с видеокамеры подавался на вход видеоманитора 11 и затем на телевизор 12 или на видеовход компьютера.

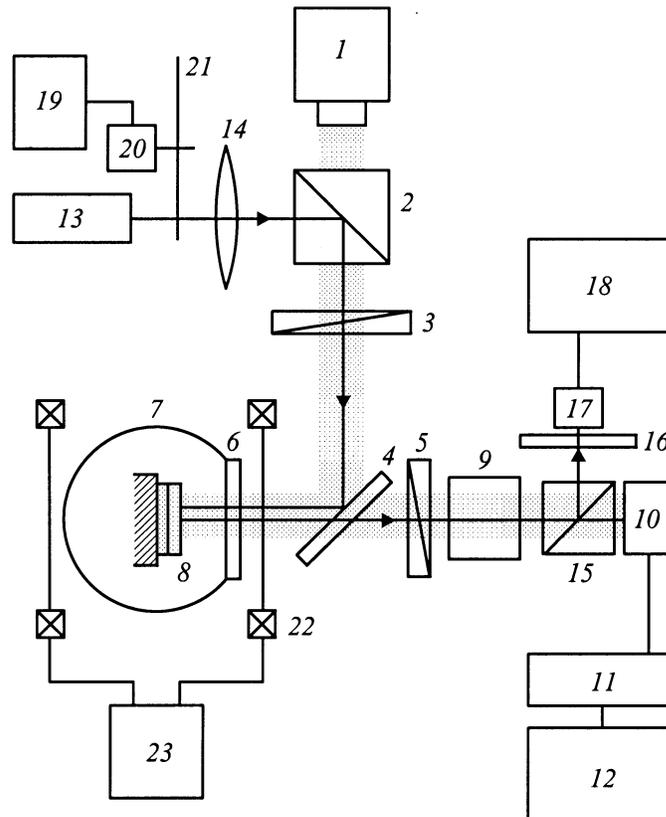


Рис. 1. Схема установки: 1 — осветитель ОСВ-1, 2 — делительный кубик, 3 — поляризатор, 4 — полупрозрачное зеркало, 5 — анализатор, 6 — входное окно, 7 — азотный криостат, 8 — магнитооптическая пленка, 9 — объектив, 10 — видеокамера, 11 — видеоманитфон, 12 — телевизор, 13 — He–Ne лазер, 14 — линза, 15 — делительный кубик, 16 — красный светофильтр, 17 — фотоприемник, 18 — селективный микровольтметр РВ7-32, 19 — генератор ГЗ-33, 20 — электродвигатель, 21 — диск с 4 отверстиями, 22 — катушки Гельмгольца, 23 — блок питания ТЕК-5020 или звуковой генератор ГЗ-109.

Измерительная часть состояла из следующих элементов. Луч He–Ne лазера 13 фокусировался линзой 14. Далее он следовал тем же путем, что и пучок белого света, и, отражаясь от делительного кубика 15, проходил через красный светофильтр 16. Интенсивность излучения лазера регистрировалась фотоприемником 17, сигнал с которого измерялся селективным микровольтметром РВ7-32 18. Для модуляции лазерного луча использовалась система, состоящая из генератора ГЗ-33 19, электродвигателя 20 и диска с 4 отверстиями 21. Частота модуляции 40 Hz. Таким образом, можно было направлять луч лазера в интересующую нас локальную область сверхпроводника, контролируя настройку по картине на экране телевизора. Получаемый на фотоприемнике сигнал был пропорционален среднеквадратичному значению плотности магнитного потока в области, определяемой площадью поперечного сечения лазерного луча. Размеры области без дополнительной фокусировки составляли порядка 1 mm при возможных размерах исследуемого образца 10×10 mm.

Магнитное поле H , перпендикулярное поверхности образца, формировалось катушками Гельмгольца 22, обеспечивающими неоднородность поля по образцу не

хуже 0.1%. Они питались от блока питания ТЕК-5020 23 и позволяли получать поля до 300 Oe. Переменное возбуждающее поле частотой $f = 20 - 1000$ Hz создавалось при подключении катушек к звуковому генератору ГЗ-109.

Эксперимент

Как и в других работах, нами наблюдался в динамике процесс проникновения магнитного потока в образец. Было обнаружено, что магнитный поток проникает в первую очередь с краев образца и в местах дефектов. При выключении внешнего магнитного поля наиболее сильный захват потока происходит в областях без дефектов, в то время как дефектные области практически не захватывают магнитный поток.

Для исследования была выбрана пленка системы $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ толщиной $0.3 \mu m$, напыленная импульсным лазерным методом на подложку из титаната стронция толщиной $0.5 \mu m$. Размеры образца 10×5 mm. На рис. 2 представлена магнитооптическая картина исследуемого нами образца, соответствующая состоянию сверхпроводника, когда в нем захвачен магнитный поток. Свет-

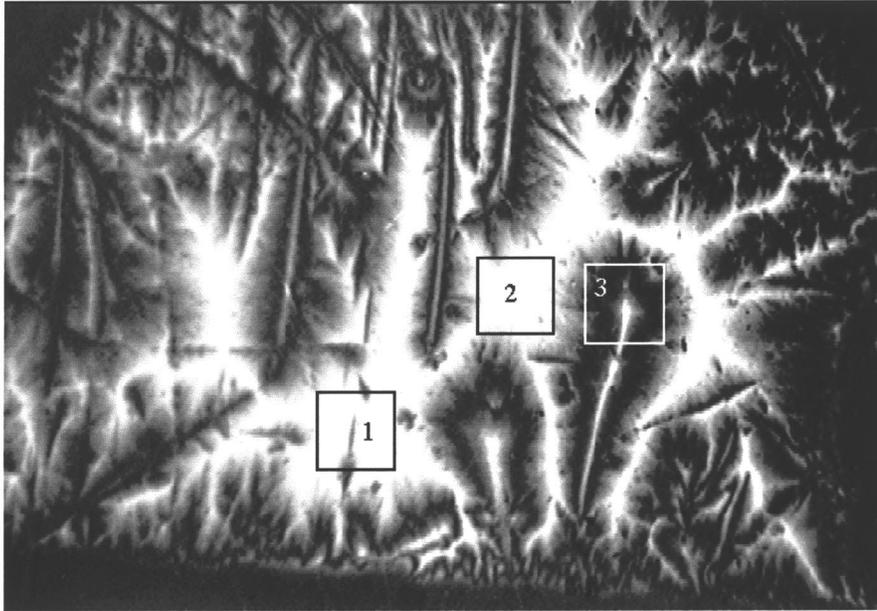


Рис. 2. Магнитооптическая картина исследуемого нами образца, соответствующая состоянию сверхпроводника, когда в нем захвачен магнитный поток. Размеры образца 10×5 mm.

лые области — места, где магнитооптическая пленка намагничена. Исследовались три наиболее характерные области. Области 1 и 2 обладали наиболее сильным захватом. Область 3 — дефектная область.

В качестве примера приведем исследования экранировки магнитного потока образцом высокотемпературного сверхпроводника. Сверхпроводник охлаждался до $T = 78$ K при $H = 0$. Эксперименты проводились в переменном магнитном поле $H = 2.4$ Oe, $f = 40$ Hz. Луч лазера при этом не модулировался. Сигнал с фотоприемника измерялся селективным микровольтметром на второй гармонике.

На рис. 3 приведены данные, полученные для указанных областей, а также интегральная характеристика, которая была получена путем освещения пучком белого света всего образца с последующей фокусировкой отраженного от магнитооптической пленки излучения на фотоприемник. Из интегральной характеристики (которую, как правило, и измеряют) видно, что ширина перехода из состояния, когда образец полностью экранирует магнитное поле в состояние, когда магнитный поток полностью проникает в образец ≈ 4 K (по уровню 0.1–0.9). Однако для каждой локальной области ширина перехода значительно меньше. Следовательно, широкий переход в интегральной характеристике вызван тем, что в различные области сверхпроводника магнитный поток проникает при различной температуре, а также присутствуют области с большой шириной перехода.

Рассмотрим теперь зависимости, полученные для областей 1–3. На рис. 3 видно, что экранирующие свойства областей 1 и 2 практически одинаковые. Проникновение потока начинается при 88 K, ширина перехода

~ 1 K. В области дефекта магнитный поток проникает в образец при 87 K, т.е. на один градус раньше, чем в областях 1 и 2, и ширина перехода больше — ≈ 2 K. Это говорит о том, что экранирующие свойства дефектной области хуже, чем областей 1 и 2. Следует обратить

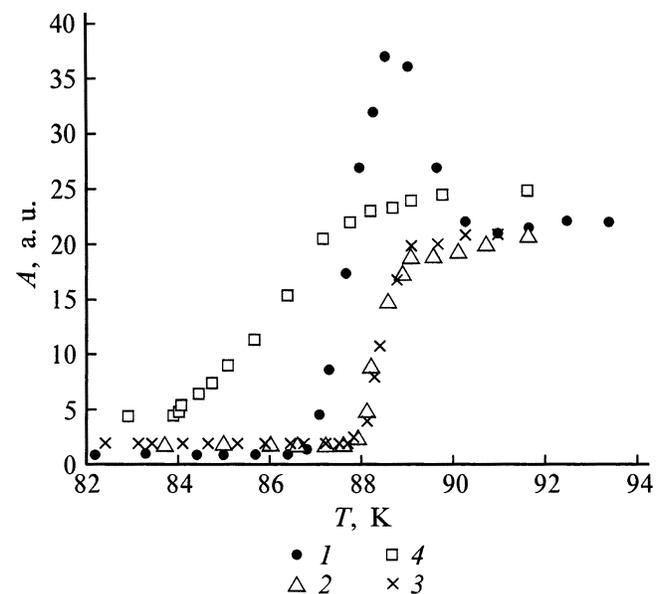


Рис. 3. Изменение амплитуды сигнала с фотоприемника A при увеличении температуры T . Амплитуда сигнала пропорциональна среднему значению плотности магнитного потока в области, определяемой площадью поперечного сечения лазерного луча. 1 — область с дефектами, 2 — первая область, 3 — вторая область, 4 — интегральная характеристика.

внимание на то, что при измерениях в области 3 сигнал сначала растет, а затем приблизительно при 88.5 К начинает падать. Это связано с тем, что в момент, когда данная область сверхпроводника перестает экранировать магнитное поле, в образце еще присутствуют области, которые его экранируют. Поэтому в дефектной области наблюдается концентрация магнитного потока. При $T = 89$ К экранировка в более "сильных" областях прекращается и магнитный поток "рассасывается" по всему образцу. Так как области 1 и 2 обладают наилучшими экранирующими свойствами и пропускают магнитный поток в последнюю очередь, то в них таких спадов не наблюдается. Отметим, что аналогичное поведение сверхпроводника наблюдалось в работе [4].

Список литературы

- [1] *Есиков О.С., Протасов Е.А.* // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 20. С. 11.
- [2] *Полянский А.А., Власко-Власов В.К., Инденбом М.В.* и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 22. С. 1.
- [3] *Беляева А.И., Войцены С.В., Юрьев В.П.* и др. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 6. С. 1189.
- [4] *Власко-Власов В.К., Инденбом М.В., Никитенко В.И.* и др. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 6. С. 1199.
- [5] *Indenbom M.V., Kolesnikov N.F., Kulakov M.P.* et al. // Physica C. 1990. N 166. P. 486.
- [6] *Власко-Власов В.К., Инденбом М.В., Никитенко В.И.* и др. // СФХТ. 1992. Т. 5. № 11. С. 2017.