

Изменение критических параметров ВТСП лент, облученных электронами и ионами высоких энергий

Л. Х. Антонова¹⁾, Г. Н. Михайлова, А. В. Троицкий

Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, 119991 Москва, Россия

А. Ю. Дидык

Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ, Московская обл. Дубна, Россия

В. А. Мальгинов, А. В. Мальгинов

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, 119991 Москва, Россия

Было исследовано влияние облучения электронами и ионами высоких энергий на критическую температуру (T_c) и критический ток (I_c) композитной ВТСП ленты на основе YBCO(123). Были определены зависимости T_c и I_c от дозы излучения. Оценены пороговые значения флюенсов, при которых исчезает сверхпроводимость.

В настоящее время высокотемпературные материалы (ВТСП) в виде композитных лент: YBCO(123), BSCCO(2223), (2212) становятся доступными для промышленного применения. Большой интерес представляют технические и технологические применения ВТСП - трансформаторы, линии передачи, электромоторы, накопители, мощные магнитные системы и др. Вопросы радиационной стойкости в условиях ионизирующих излучений и повышения критических токов в сильных магнитных полях являются очень важными с точки зрения широкого применения этих материалов на практике.

Эффект увеличения критического тока в результате создания радиационных дефектов, обнаруженный в металлических сверхпроводниках 2 рода [1], позволяет использовать такие сверхпроводники для получения сильных магнитных полей. Композитные ВТСП материалы имеют сложную архитектуру и обладают иными термодинамическими параметрами по сравнению с пленочными образцами, что должно отразиться на картине генерации радиационных дефектов.

Цель настоящей работы - исследование радиационной стойкости сверхпроводящих лент YBCO(123) и Bi(2223) под действием излучения электронов высоких энергий и быстрых ионов и определение зависимости критических параметров от дозы излучения.

Для экспериментов с ионным облучением использовались ВТСП образцы - отрезки композитной ленты второго поколения на основе YBCO(123) компании SuperPower Inc. Co (USA), торговой марки SF12100 (критток при $T = 77\text{K}$

$I_c = 270\text{A}$, критическая температура $T_c = 92\text{K}$). Образцы представляли собой отрезки ленты размером $20 \times 12 \times 0,1\text{ мм}^3$ и не имели медной оболочки. Это позволяло использовать пуски тяжелых ионов с энергиями порядка 1,2 МэВ/а.е.м. Такие ионы, во-первых, имеют достаточно высокие неупругие потери энергии и, во-вторых, способны достигать ВТСП слой внутри композитной ленты. Именно поэтому для экспериментов с ионным облучением была выбрана лента без медного покрытия.

Для опытов с электронным облучением был использован многожильный стабилизированный герметичный провод Bi-2223 ($I_c = 92\text{A}$, $T_c = 110\text{K}$) на основе соединения $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-x}$ (EAS, Германия), так называемый провод первого поколения. Образцы имели размер $30 \times 4 \times 0,1\text{ мм}^3$.

Облучение. Облучение образцов Bi-2223 электронами с энергией 2 МэВ проводилось на микротроне ИМЕТ. Флюенсы электронов изменялись в диапазоне $1,0 \times 10^{17}$ электрон/см² до $3,0 \times 10^{18}$ электрон/см².

Облучение образцов YBCO(123) ионами криптона и ксенона проводилось на ускорителе ИЦ-100 (Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н.Флерова в ОИЯИ) с энергиями 167 МэВ для $^{132}\text{Xe}^{27+}$ и 107 МэВ для $^{84}\text{Kr}^{17+}$ перпендикулярно поверхности ленты со стороны серебра, при этом температура образца не превышала 100°C .

Измерения величины критического тока для лент Bi-2223 проводились на постоянном токе четырех-зондовым методом по вольт-амперным характеристикам (ВАХ) сверхпроводника при температуре жидкого азота. Токковые контакты к образцам лент были прижимными с индиевой прослойкой. Точность измерения составляла $\pm 1\text{A}$.

¹⁾lpa@kapella.gpi.ru

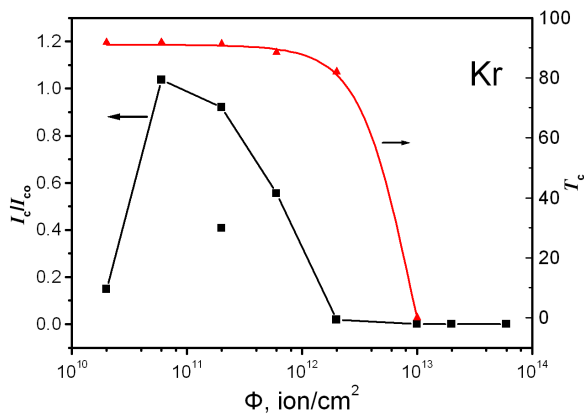


Рис. 1. Зависимость I_c и T_c для ленты SuperPower от флюенсов облучения ионами $^{84}\text{Kr}^{17+}$.

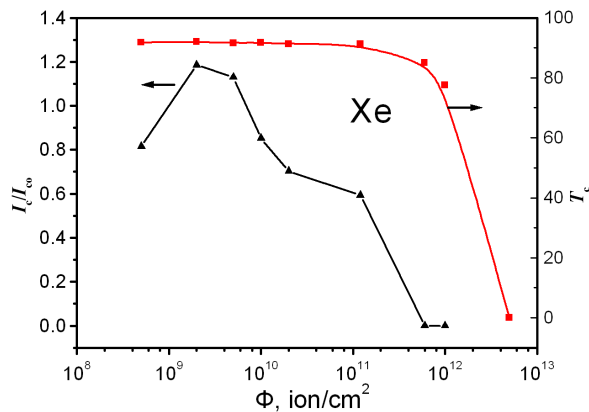


Рис. 2. Зависимость I_c и T_c для ленты SuperPower от флюенсов облучения ионами $^{132}\text{Xe}^{27+}$.

Измерения критической температуры на образцах было также проведено четырех-зондовым методом на постоянном токе в диапазоне температур 300 К–4,2 К.

Образцы ВТСП ленты YBCO(123) подключались к схеме измерения прижимными контактами, имеющими площадь порядка 1 см². Поскольку лента YBCO(123) не имеет медной оболочки для шунтирования сверхпроводника в случае перехода в нормальное состояние, измерения проводились на переменном токе в импульсном режиме.

Для электропитания образца на переменном токе применялся токоограничитель трансформаторного типа, который служил источником тока для образца ленты, находящейся в сверхпроводящем или резистивном состоянии, и источником напряжения для этого же образца после его перехода в нормальное состояние. При используемой частоте

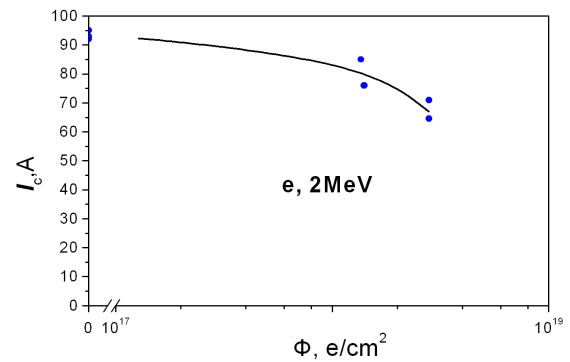


Рис. 3. Зависимость I_c для ленты EAS от флюенсов облучения электронами.

те измерений (50 Гц) критический ток по величине близок к измерениям на постоянном токе. На образец подается серия токовых импульсов длительностью в 2–3 с, при этом наблюдается изменение тока и напряжения на образце со временем. Из серии импульсов используются те скачки тока, при которых переход образца в нормальное состояние происходил при временах от 0,5 с до 1,0 с после момента увеличения тока. В этом случае переход осуществляется за счет небольшого уровня дополнительного подогрева, поэтому начальный ток можно считать критическим током. Точность определения критического тока описанным методом составляет 1,7%.

Более подробные описания экспериментальных методик и предварительные результаты были опубликованы в работах [2, 3].

Выводы. Были измерены критическая температура T_c и критический ток I_c при $T = 77$ К облученных ионами и электронами композитных ВТСП лент, оценены пороговые значения флюенсов, при которых исчезает сверхпроводимость. Также было показано, при облучении ионами криптона и ксенона происходит увеличение критического тока в определенном диапазоне флюенсов (рис. 1 и 2). В случае облучения электронами (рис. 3) в интервале доз от 10^{17} эл/см²– 8×10^{17} эл/см² происходит лишь незначительное уменьшение критического тока, дальнейшее увеличение дозы приводит к резкому уменьшению I_c .

Список литературы

1. S. A. Alterovitz, D. E. Farrel, B. S. Chandrasekhar et al., Phys. Rev. B, **24**, N 1, 90. (1981).
2. В. П. Аксенов, Л. Х. Антонова, А. Г. Белов и др., ДАН, **428**, №5, 608. (2009).
3. Л. Х. Антонова, А. Г. Белов, В. В. Воронов, А. Ю. Дидык и др., Поверхность, № 5, 92. (2011).