

УДК 537.312.62

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ NdCeCuO НА ВЕРХНЕЕ КРИТИЧЕСКОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ H_{c2}

Н. П. Шабанова, В. С. Ноздрин, С. И. Красносвободцев, В. А. Дравин,
А. И. Головашкин

На основе исследований температурной зависимости верхнего критического магнитного поля $H_{c2}(T)$ вблизи критической температуры T_c рассмотрена проблема отсутствия его чувствительности к рассеянию и изменению параметров электронной структуры высокотемпературного сверхпроводника NdCeCuO. Показано, что вклад рассеяния в изменение H_{c2} в результате ионного облучения несущественен. При этом отсутствие изменения наклона $-dH_{c2}/dT$ с точки зрения микротeorии можно объяснить взаимно компенсирующим изменением параметров электронной структуры.

Исследования верхнего критического магнитного поля пленок высокотемпературного сверхпроводящего соединения NdCeCuO, подвергнутых ионному облучению, показали отсутствие классического роста H_{c2} [1], обычно связываемого с увеличением рассеяния электронов на внесенных радиационных дефектах [2]. Если полагать, как утверждается в [3], что ионное облучение приводит к росту рассеяния при сохранении электронной структуры, то этот результат ставит под сомнение применимость микротeorии (например, теории Гинзбурга – Ландау – Абрикосова – Горькова) к ВТСП. В работе [1] было сделано предположение, что такое поведение H_{c2} связано со слабым изменением рассеяния при ионном облучении.

В настоящей работе исследуется механизм изменения H_{c2} и удельного сопротивления при изменении кислородного содержания, соотношения Nd/Ce и ионном облучении пленок NdCeCuO. Рассматривается роль рассеяния и параметров электронной структуры.

Исследовались эпитаксиальные пленки $Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO_{4-\delta}$ и $Nd_{1.87}Ce_{0.13}CuO_{4-\delta}$, ориентированные осью с перпендикулярно поверхности подложки [4]. Облучение пленок ионами He^+ с энергией 200 кэВ проводилось при комнатной температуре и при температуре кипения жидкого азота на ионном ускорителе. Температурная зависимость $H_{c2}(T)$ определялась по температурному сдвигу резистивного сверхпроводящего перехода в перпендикулярном пленке магнитном поле [5].

Исследования пленок, подвергнутых облучению при комнатной температуре, показали, что даже при малых дозах облучения происходит сильный рост величины удельного сопротивления и наклона его температурной зависимости $d\rho/dT$ в нормальном состоянии (рис. 1). При этом отношение сопротивлений при комнатной температуре к сопротивлению перед сверхпроводящим переходом γ остается практически неизменным.

Если облучение приводит только к возникновению рассеивающих центров, то для многократного увеличения удельного сопротивления при дозах $10^{13} - 10^{14} \text{ см}^{-2}$ необходим материал изначально с уникально низкой концентрацией дефектов [6]. Это представляется маловероятным поскольку даже лучшие эпитаксиальные пленки ВТСП не являются идеальными монокристаллами. К тому же, при неизменной электронной структуре наклон $d\rho/dT$ должен сохраняться. Действительно, в обычных сверхпроводниках облучение приводит к росту остаточного сопротивления при сокращении длины свободного пробега электронов из-за рассеяния на дефектах. При слабом изменении электронной структуры $d\rho/dT$ меняется незначительно, а отношение сопротивлений γ снижается (рис. 2).

Таким образом, рост удельного сопротивления и наклона его температурной зависимости в результате облучения даже малыми дозами указывают на существенные изменения электронной структуры $NdCeCuO$.

Известно, что небольшое уменьшение кислородного содержания в ВТСП относительно оптимального ведет к значительному уменьшению числа носителей [7]. Поэтому даже малое число радиационных вакансий по кислороду способно вызвать сильное снижение концентрации носителей. Наблюдавшееся значительное уширение индуктивного перехода при повышении дозы свидетельствовало о возрастающей неоднородности пленок. По-видимому, ионная бомбардировка стимулирует выход и перераспределение относительно слабосвязанного кислорода в решетке. Для минимизации этих эффектов и повышения радиационной устойчивости (достижения большей дозы до потери сверхпроводимости) с целью создания большей концентрации центров рассеяния температура образцов во время облучения была снижена до 77 К.

Скорость деградации критической температуры пленок $NdCeCuO$ в результате облучения при комнатной температуре хорошо согласовывалась с литературными данными [2]. Понижение температуры образцов до 77 K позволило более чем на порядок увеличить дозу, при которой еще сохранялась сверхпроводимость. Улучшилась объемная однородность пленок по сравнению с облученными без охлаждения, о чем свидетельствует слабое уширение индуктивного прехода. При этом характер изменения температурной зависимости удельного сопротивления при облучении остался неизменным (см. рис. 1).

Охлаждение образцов позволило повысить дозы облучения почти до 10^{15} см^{-2} . Для достаточно чистых сверхпроводников такое количество радиационных центров рассеяния оказывается достаточным для заметного изменения верхнего критического магнитного поля H_{c2} вблизи T_c [6]. Однако в случае $NdCeCuO$ мы не обнаружили изменений наклона из-за рассеяния. По-видимому, рост H_{c2} с повышением концентрации рассеивающих центров пренебрежимо мал по сравнению с эффектом от изменения электронной структуры $NdCeCuO$.

Действительно, даже в случае грязного сверхпроводника, когда H_{c2} наиболее сильно зависит от длины свободного пробега, величина верхнего критического поля чувствительна и к изменениям электронной структуры, так что $-dH_{c2}/dT \sim \rho(N, l)N(0)$ [2, 6]. Здесь удельное сопротивление является функцией концентрации электронов проводимости N и длины свободного пробега l . Причем, в отличие от обычных сверхпроводников, где основной вклад вносит изменение l , в данном случае определяющую роль играет изменение концентрации и плотности электронных состояний на уровне Ферми $N(0)$. Согласно [8], такие изменения имеют место в $NdCeCuO$ при отклонении кислородного состава от оптимального. Как показывают настоящие исследования, верхнее критическое магнитное поле $H_{c2}(T)$ облученных пленок $NdCeCuO$ меняется так же, как в результате изменения кислородного состава и соотношения атомов Nd и Ce (рис. 3).

Однако остается непонятным, почему не меняется наклон температурной зависимости $H_{c2}(T)$ при сильном изменении электронной структуры. В представлениях микротеории в общем случае верхнее критическое магнитное поле определяется изменением электронных характеристик, так что $-dH_{c2}/dT \sim \alpha T_c / \langle v^2 \rangle + \beta \rho N(0)$, где v – средний по поверхности Ферми квадрат скорости Ферми, α и β – численные коэффициенты [2]. Одним из возможных объяснений такого поведения верхнего критического магнитного поля может быть предположение, что изменения слагаемых взаимно компенсируют друг друга вследствие особенностей электронной структуры $NdCeCuO$. Если окажет-

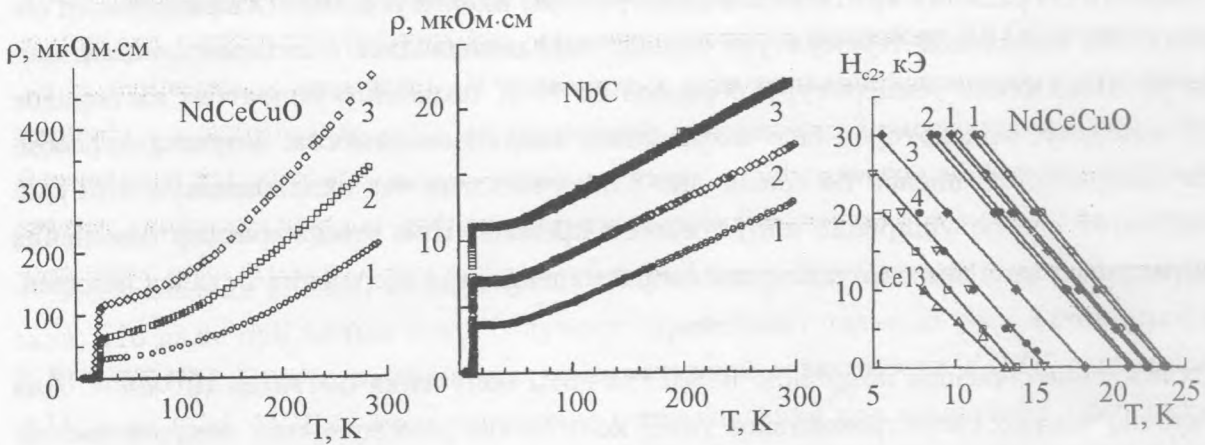


Рис. 1. Температурные зависимости удельного сопротивления эпитаксиальных пленок высокотемпературного сверхпроводника $Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO_{4-\delta}$, облученных различными дозами F ионов He^+ . 1 - $F = 0$, 2 - $F = 1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, 3 - $F = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

Рис. 2. Температурные зависимости удельного сопротивления пленок сверхпроводника NbC , облученных различными дозами F ионов He^+ . 1 - $F = 0$, 2 - $F = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, 3 - $F = 1.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

Рис. 3. Температурные зависимости верхнего критического магнитного поля H_{c2} эпитаксиальных пленок высокотемпературного сверхпроводника $NdCeCuO$ с различным содержанием кислорода и редкоземельных элементов и облученных различными дозами ионами He^+ . (\circ, \diamond) - пленки $[Ce] = 0.15$ с различным кислородным содержанием, (\square) - пленка $[Ce] = 0.13$, (\bullet, \diamond) - пленки $[Ce] = 0.15$, облученные различными дозами F ионов He^+ . 1 - $F = 1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, 2 - $F = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, 3 - $F = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, 4 - $F = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (облучалась при 77 K), (∇, Δ) - $[Ce] = 0.15$ с недостатком и избытком кислорода по работе [7].

ся, что наклон $-dH_{c2}/dT$ других ВТСП также нечувствителен к глубоким изменениям в системе электронов проводимости, это поставит под сомнение справедливость обычных представлений микротемории для высокотемпературных сверхпроводников.

Работа выполнена при поддержке Научного совета РНТП Актуальные направления физики конденсированных сред, направление Сверхпроводимость, грант N 98027 и Российского фонда фундаментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Красносвободцев С. И., Шабанова Н. П., Ноздрин В. С., Головашкин А. И. ФТТ, **41**, 1256 (1999).
- [2] Шабанова Н. П., Красносвободцев С. И., Ноздрин В. С., Головашкин А. И. ФТТ, **38**, 1969 (1996).
- [3] Woods S. I. et al. Phys. Rev. B, **58**, 8800 (1998).
- [4] Ноздрин В. С. и др. Письма в ЖТФ, **22**, 1 (1996).
- [5] Красносвободцев С. И. et al. Physica C, **282-287**, 1291 (1997).
- [6] Шабанова Н. П. et al. Czech. J. Phys., **46**, 853 (1996).
- [7] Herrmann J. et al. Phys. Rev. B, **54**, 3610 (1996).
- [8] Marshall D. S. et al. Phys. Rev. Lett., **76**, 4841 (1996).

Поступила в редакцию 12 ноября 1999 г.