

НАБЛЮДЕНИЕ ЭФФЕКТА АНОМАЛЬНОГО ПРОПУСКАНИЯ В РАССЕЯНИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ СВЕРХПРОВОДЯЩИМ КРИСТАЛЛОМ $Nd_{1,85}Ce_{0,15}CuO_{4-\delta}$

*В.В.Квардаков, В.А.Соменков, В.Паулус*¹⁾, Г.Хегер⁺¹⁾, С.Пиньел^{□1)}*

*Российский научный центр "Курчатовский институт"
123182 Москва, Россия*

** CEN Saclay, LLB, F-91191 Gif sur Yvette, France;
Philipps Univ., Marburg, Fachbereich Chemie, D-35032, Germany*

+ RWTH Aachen, Inst.f.Kristallographie D-52052, Germany

□ ICMB-CSIIC Campus UAB, E-08193 Bellaterra, Spain

Поступила в редакцию 28 июня 1994 г.

После переработки 13 октября 1994 г.

В сверхпроводящем кристалле $Nd_{1,85}Ce_{0,15}CuO_{4-\delta}$ обнаружен свойственный совершенным кристаллам эффект аномального пропускания в рассеянии рентгеновских лучей.

Обнаружение и изучение совершенных ВТСП кристаллов имело бы важное значение для выяснения природы высокотемпературной сверхпроводимости, подобно тому как это имело место в случае полупроводников, поскольку позволило бы избежать маскирующего влияния дефектов на результаты измерений и использовать для изучения структуры и свойств сверхпроводников прецизионные дифракционные методы, развитые ранее для исследования совершенных кристаллов Si и Ge и основанные на наблюдении динамических дифракционных эффектов.

В [1,2] динамические эффекты (аномальное пропускание – эффект Бормана, Pendellösung эффект, узкие кривые отражения с шириной, близкой к теоретической для идеального кристалла) были обнаружены в дифракции нейтронов и рентгеновских лучей в несверхпроводящих кристаллах Nd_2CuO_4 и $Nd_{1,85}Ce_{0,15}CuO_4$, выращенных путем разращивания монокристаллической заготовки на кристаллодержателе в раствор-расплаве [3]. Возможность существования этих эффектов в сверхпроводящих кристаллах неочевидна, поскольку для придания кристаллам сверхпроводящих свойств необходимо создание большого числа кислородных вакансий путем высокотемпературного отжига, причем неоднородная концентрация вакансий, особенно характерная для толстых кристаллов ($t > 300$ мкм), которые как раз и были получены по методу [3], может привести к значительным упругим напряжениям, подавляющим динамические эффекты.

В настоящей работе сообщается о наблюдении эффекта аномального пропускания в рассеянии рентгеновских лучей тонким сверхпроводящим кристаллом $Nd_{1,85}Ce_{0,15}CuO_{4-\delta}$, выращенным методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве [4].

Кристалл представлял собой пластинку толщиной $t \approx 80$ мкм, площадью $S \approx 2$ мм², имел однородную черную окраску и "зеркальную" поверхность. Плоскость пластинки совпадала с кристаллографической плоскостью (001).

¹⁾W.Paulus, G.Heger, S.Piñol.

Температура сверхпроводящего перехода, определенная из эксперимента по измерению магнитной восприимчивости, составляла 21 К.

Эксперименты проводились на двухкристальном дифрактометре с совершенным кристаллом Si в качестве монохроматора, использовалось $\text{CuK}\alpha$ -излучение. Измерялись кривые отражения $R(\omega)$ и пропускания $T(\omega)$ рентгеновских лучей для лауэвского рефлекса (200). Для выявления кристаллических дефектов использовался метод рентгеновской топографии и селективного травления. Топограммы снимались путем сканирования кристалла поперек R пучка, при этом монохроматор не использовался. Травление осуществлялось по методу [5].

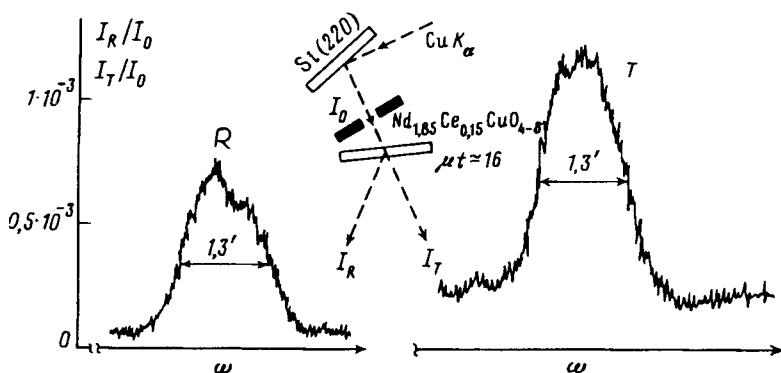


Рис.1. Кривые отражения R и пропускания T кристалла и схема эксперимента

На кривых $R(\omega)$ и $T(\omega)$ наблюдались пики; интенсивность R и T пучков в пиках составила величину $\approx 1 \cdot 10^{-3}$ от интенсивности падающего на кристалл пучка (рис.1). Поскольку расчетное произведение линейного коэффициента поглощения μ на толщину кристалла равнялось $\mu t \approx 16$, то наличие этих пиков свидетельствует о существовании эффекта аномального пропускания рентгеновских лучей в исследуемом кристалле [6]. Из величины экспериментально измеренного интегрального коэффициента отражения $\rho \approx 2,8 \cdot 10^{-7}$ было вычислено по аналогии с [1] соотношение между эффективным (интерференционным) коэффициентом поглощения μ_i и "обычным" коэффициентом поглощения μ . Это соотношение составило $\mu_i/\mu \approx 5,3$, что меньше, чем для неотожженных кристаллов $\text{Nd}_{1,85}\text{Ce}_{0,15}\text{CuO}_4$ ($\mu/\mu_i \approx 10$) [2] и Nd_2CuO_4 ($\mu/\mu_i \approx 14$) [1]. Ширины пиков на кривых R и T составили $1,3'$ при расчетном значении для идеального кристалла $17''$.

Для выяснения причины уширения пиков были изучены дефекты в кристалле. Методом рентгеновской топографии было установлено, что малоугловые границы в кристалле отсутствуют, однако наблюдаются дефекты недислокационной природы, проявившиеся на топограммах в виде чередующихся вдоль плоскости кристаллической пластины (с периодом $\approx 0,1$ мм) светлых и темных полос. Такие дефекты не выявлялись нами ранее в неотожженных кристаллах [1,2]. Топограммы зафиксировали несколько пересекающихся друг с другом систем полос; контраст полос менялся при изменении вектора рассеяния: наибольший контраст наблюдался тогда, когда полосы были приблизительно перпендикулярны вектору рассеяния (рис.2). Существование подобных полос можно связать с наличием в кристалле периодического поля упругих

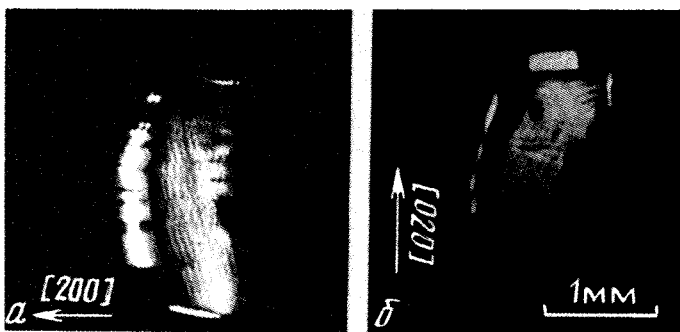


Рис.2. Рентгеновские программы, снятые в R пучке для рефлексов $[200]$ (а) и $[020]$, (б)

напряжений, связанным, по-видимому, с неоднородным распределением кислородных вакансий. Однако для окончательного выяснения природы этих напряжений необходимо сравнение топограмм, полученных до и после отжига образца. Наличие упругих напряжений затрудняет выявление на топограммах отдельных дислокаций. Поэтому плотность дислокаций была определена путем наблюдения ямок травления, которые, как было показано в [5], однозначно соответствуют дислокациям в кристаллах $Nd_{2-x}Ce_xCuO_{4-\delta}$. Плотность дислокаций составила $\cong 2 \cdot 10^4/\text{см}^2$, что на порядок больше, чем в неотожженных кристаллах $Nd_{1,85}Ce_{0,15}CuO_4$ и Nd_4CuO_4 [1,2], полученных по методу [3].

Несмотря на присутствие в кристалле дефектов, наличие эффекта Бормана показывает, что по крайней мере в тонких сверхпроводящих кристаллах совершенство может быть достаточно высоким для существования динамических эффектов в рассеянии рентгеновских лучей. Кристаллы такого совершенства могут быть использованы, например, в рентгеноакустических экспериментах вблизи сверхпроводящего перехода, подобных экспериментам на несверхпроводящих кристаллах при комнатной температуре [7].

Авторы выражают благодарность А.Н.Талденкову за измерение магнитной восприимчивости. Работа поддержана Научным советом по проблеме ВТСП и выполнена в рамках проекта 93192 Государственной программы "Высокотемпературная сверхпроводимость".

1. В.В.Квардаков, В.А.Соменков, С.Н.Барило, Д.И.Жигунов, Сверхпроводимость 4, 1263 (1991).
2. В.В.Квардаков, В.А.Соменков, Сверхпроводимость 5, 448 (1992).
3. S.N.Barilo, V.A.Gatalskaya, A.P.Ges et al. Abstracts, ICMC'90, Garmisch-Partenkirchen, 1990, PS.05.
4. S.Piñol, J.Fontcuberta, C.Miravittles, and D.McK.Paul, Physica C, 165, 265 (1990).
5. В.В.Квардаков, В.А.Соменков, С.Ш.Шильштейн. Сверхпроводимость 5, 624 (1992).
6. З.Г.Пинскер, Рентгеновская кристаллооптика. М.: Наука, 1982.
7. A.Yu.Bessarabskiy, V.V.Kvardakov, V.A.Somenkov, and S.Sh.Shilstein, Abstracts of the Russian-French seminar on current topics of condensed matter problems with neutrons methods, Gatchina, 1933, p.03.07.05.