

05;12

## Влияние нейтронного облучения на ИК спектры поглощения монокристаллов оксида меди

© Н.Н. Лошкарева, Б.А. Гижевский, Ю.П. Сухоруков, А.Е. Карькин, С.В. Наумов

Институт физики металлов УрО РАН,  
620219 Екатеринбург, Россия

(Поступило в Редакцию 19 октября 1998 г.)

В спектрах монокристаллов  $\text{CuO}$ , облученных нейтронами с флюенсом  $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ , наблюдается сильный рост коэффициента поглощения при увеличении энергии фотонов от 0.1 до 1.0 eV. Разность коэффициентов поглощения до и после облучения зависит от длины волны как  $\lambda^{-2}$ . Результаты воздействия нейтронного облучения на  $\text{CuO}$  качественно подобны воздействию нейтронов на другие полупроводники (например, GaAs) и отличаются от результатов облучения  $\text{CuO}$  заряженными частицами.

Инфракрасные оптические спектры  $\text{CuO}$ , так же как и спектры полупроводниковых составов медь-кислородных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), свидетельствуют о фазовой неоднородности этих материалов и могут быть описаны на основе кластерного подхода существованием в основной матрице, состоящей из кластеров  $(\text{CuO}_4)^{6-}$ , зародышей фазы полярных ян-теллеровских центров (дырочных  $(\text{CuO}_4)^{5-}$  и электронных  $(\text{CuO}_4)^{7-}$ ) [1]. Как было показано нами, облучение  $\text{CuO}$  высокоэнергетическими заряженными частицами — электронами и ионами  $\text{He}^+$  [2,3] приводит к существенным изменениям структуры и анизотропии спектров оптического поглощения, которые обусловлены спецификой  $\text{CuO}$  как фазово-неоднородного соединения [1].

В настоящей работе исследуется влияние облучения нейтральными частицами — нейтронами с флюенсом  $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$  на спектры инфракрасного поглощения монокристаллов  $\text{CuO}$ , вырезанных вдоль плоскости (110) и вдоль плоскости ( $ac$ ). Температура при облучении была менее  $100^\circ\text{C}$ . Из рентгеновских дифрактограмм следует, что параметры моноклинной решетки не изменились, линии уширились. Электросопротивление образцов до отжига составляло  $10^2 \Omega \cdot \text{m}$ , после облучения увеличилось на 2–3 порядка. При этом не было замечено изменения анизотропии электросопротивления после облучения.

Спектры поглощения монокристаллов  $\text{CuO}$  исследовались в диапазоне энергии фотонов 0.1–1.0 eV (в области между краем фундаментального поглощения  $E_g = 1.46 \text{ eV}$  и фоновым спектром). Качество оптических поверхностей после облучения не ухудшилось.

В исследованном диапазоне имеются полоса поглощения при 0.2 eV (рис. 1), соответствующая переходам в дырочном ян-теллеровском центре [1], и область слабо возрастающего к высоким энергиям поглощения. После облучения обнаружен сильный монотонный рост поглощения начиная с 0.1 eV. Такое изменение спектров наблюдается как при падении света на плоскость ( $ac$ ), так и в случае плоскости (110), для естественного и поляризованного света. Заметного увеличения интенсивности полосы при 0.2 eV на фоне бесструктурного роста

поглощения не произошло. В моноклинном кристалле  $\text{CuO}$  в плоскости ( $ac$ ) лежит ось  $[\bar{1}01]$ , относительно которой мы наблюдали сильную анизотропию коэффициента поглощения вблизи перехода при 0.2 eV [1]. Естественный дихроизм — отношение разности коэффициентов поглощения для поляризаций параллельной и перпендикулярной оси  $[\bar{1}01]$  к их сумме в необлученном кристалле составляет более 40%. При облучении  $\text{CuO}$  заряженными частицами (электронами и ионами  $\text{He}^+$ ) дихроизм в области полосы при 0.2 eV менялся существенно (в 2 раза). При облучении нейтронами существенного изменения дихроизма не наблюдается, что свидетельствует о неизменности анизотропии дырочных центров. В отличие от облучения ионами  $\text{He}^+$  и электронами при облучении нейтронами в спектрах не появилось новых полос.

Разность коэффициентов поглощения до и после облучения  $\Delta K$  с хорошей точностью (2%) обратно пропорциональна квадрату длины волны (рис. 2) как для образца вырезанного в плоскости (110) при измерениях в естественном свете, так и для образца, вырезанного в плоскости ( $ac$ ), при измерениях в линейно поляризован-

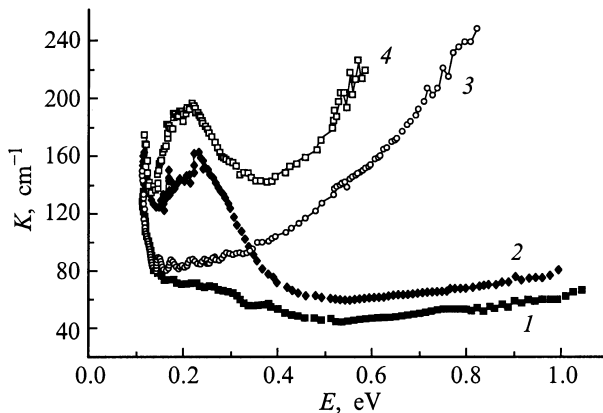
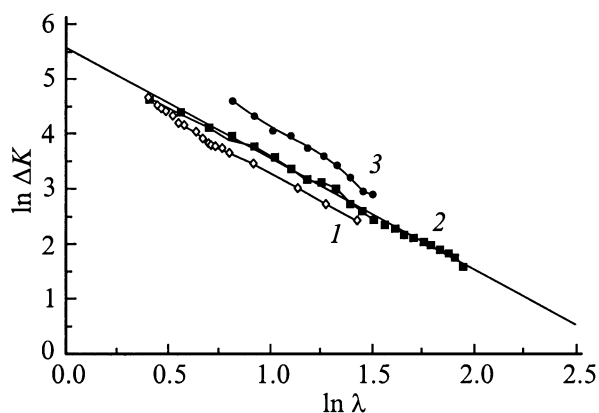


Рис. 1. Спектры поглощения монокристалла  $\text{CuO}$ , плоскость  $ac$ , в поляризованном свете до облучения (1, 2) и после (3, 4): 1, 3 —  $E \perp [\bar{1}01]$ ; 2, 4 —  $E \parallel [\bar{1}01]$ .



**Рис. 2.** Зависимость разности коэффициентов поглощения CuO до и после облучения от длины волны: 1 — плоскость (110), естественный свет; 2 и 3 — плоскость  $ac$ , поляризованный свет,  $E \perp [101]$  и  $E \parallel [101]$ .

ном свете с направлением вектора  $\mathbf{E}$  вдоль и перпендикулярно оси  $[101]$ . Дополнительное поглощение является результатом рассеяния света на созданных облучением дефектах. Зависимость  $\Delta K \sim \lambda^{-2}$  наблюдалась в обычных полупроводниках, например в GaAs, и связывалась с «металлоподобными» включениями [4]. Нейтроны являются наиболее повреждающими частицами. Первично выбитый атом с энергией существенно выше пороговой быстро теряет эту энергию при соударениях с другими атомами. Результатом такого взаимодействия являются термические клинья и области разупорядочения. Высокая температура в области термического клина может вызвать локальную диссоциацию и выпадение компонент в виде коллоидных включений. Такими включениями в матрице CuO могут быть зародыши неоднородной фазы, которые в результате нейтронного воздействия образуют мелкодисперсную структуру (размером меньше  $0.01\text{--}0.1 \mu\text{m}$ ), с преобладающим в зародышах числом электронных ян-теллеровских центров, оптические переходы в которых запрещены. Возможно возникновение электронных центров является одной из причин увеличения сопротивления вследствие компенсации акцепторов в исходном оксиде меди  $p$ -типа. Другой причиной увеличения электросопротивления, по-видимому, являются эффекты разупорядочения решетки, приводящие к флуктуациям потенциала. Рентгеновские дифракционные данные подтверждают возникновение разупорядочения после облучения.

Таким образом, облучение CuO нейтронами приводит к радиационно-стимулированному бесструктурному поглощению, характерному для бинарных полупроводников (например, GaAs). Результаты нейтронного облучения существенно отличаются от случая облучения CuO заряженными частицами, при котором ярко проявляется специфика фазово-неоднородного состояния оксида меди.

Авторы благодарят сотрудника Свердловского филиала научно-исследовательского и конструкторского института электротехники С.М. Вовка за содействие в измерениях.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 96-02-16063.

## Список литературы

- [1] Москвин А.С., Лошкарева Н.Н., Сухоруков Ю.П. и др. // ЖЭТФ. 1994. Т. 105. Вып. 4. С. 967–993.
- [2] Сухоруков Ю.П., Лошкарева Н.Н., Москвин А.С. и др. // ФТТ. 1997. Т. 39. Вып. 12. С. 2141–2146.
- [3] Гижевский Б.А., Бельх Т.А., Наумов С.В. и др. // ФХОМ. 1998. № 1. С. 9–14.
- [4] Коноплева Р.Ф., Литвинов В.Л., Ухин Н.А. Особенности радиационного повреждения полупроводников частицами высоких энергий. М.: Атомиздат, 1971. 176 с.