

ИНДУЦИРОВАННАЯ МАГНИТНЫМ УПОРЯДОЧЕНИЕМ ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ГАРМОНИКИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ И Nd_2CuO_4

С. Б. Борисов, Н. Н. Дадоевкова, И. Л. Любчанский,
В. Л. Соболев

1. В работах [1-3] сообщалось о наблюдении генерации второй оптической гармоники в ряде высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). Кристаллические группы симметрии исследованных ВТСП-материалов содержат центр инверсии, что должно приводить к запрету на процесс генерации второй гармоники (ГВГ) в дипольном приближении [4]. Однако интенсивность сигнала ГВГ, зарегистрированного в экспериментах с ВТСП, более чем на порядок превышает интенсивность ГВГ от centrosymmetric кристаллического кремния, в котором трехфотонное взаимодействие обусловлено квадрупольной оптической нелинейностью [3]. Как отмечено в [3], возможным механизмом, объясняющим дипольно-разрешенную ГВГ в ВТСП, является наличие ацентричных кластеров и возникновение полярных смещений в кристаллической решетке исследованных сверхпроводников. В нашей работе [5] было показано, что упорядочение антиферромагнитное ионов меди в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ также может приводить к снятию симметричного запрета на ГВГ в дипольном приближении. Однако не все магнитные структуры, которые могут реализоваться в ВТСП, допускают возможность дипольно-активной ГВГ. Теоретико-групповой анализ магнитных конфигураций для таких соединений, как $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ и Nd_2CuO_4 , был проведен в [6, 7]. Целью настоящего сообщения является исследование тензора нелинейной оптической восприимчивости (НОВ), характеризующего ГВГ в различных магнитоупорядоченных фазах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ и Nd_2CuO_4 .

2. В рамках рассматриваемой модели нелинейная электрическая поляризация centrosymmetric ВТСП $P_i^{NL}(2\omega)$ в дипольном приближении определяется только той частью тензора НОВ, которая зависит от магнитной подсистемы кристалла $\chi_{ijk}^{(m)}$ [5]

$$P_i^{NL}(2\omega) = \chi_{ijk}^{(m)}(2\omega; \omega, \omega) E_j(\omega) E_k(\omega), \quad (1)$$

где $E(\omega)$ — напряженность электрического поля падающей электромагнитной волны с частотой ω . Согласно [5, 8], линейные по магнитным моментам компоненты $\chi_{ijk}^{(m)}$ отличны от нуля в том случае, если в кристалле реализуются магнитные структуры преобразующиеся по неприводимым представлениям (НП) группы симметрии парафазы, нечетным относительно инверсии.

3. В [5] был проведен теоретико-групповой анализ тензора НОВ $\chi_{ijk}^{(m)}$ для тетрагональной модификации ВТСП $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ ($\delta < 0.15$), в котором группы магнитной симметрии построены на основе кристаллического класса D_{4h} . В [6] было отмечено, что в результате фазового перехода в магнитоупорядоченное состояние при температуре Нееля $T_N = 400$ К возможна реализация двух антиферромагнитных структур. В первом случае упорядочены ионы $\text{Cu}2$, находящиеся в позициях g -типа (фаза АФ-1), а во втором — как ионы $\text{Cu}2$, так и $\text{Cu}1$, которые занимают позиции a -типа (фаза АФ-2). При таком фазовом переходе двумерные НП класса D_{4h} E_g и E_u индуцируют четыре одномерных НП класса D_{2h} : B_{1g} , B_{2g} и B_{1u} , B_{2u} . Согласно [6], антиферромагнитной структуре АФ-1 соответствует нечетное НП B_{1u} (магнитный класс симметрии $D_{2h}(C_{2v})$), а АФ-2 — четное НП B_{1g} (магнитный класс симметрии $D_{2h}(C_{2h})$). Теоре-

тико-групповое исследование тензора НОВ показывает, что в фазе АФ-1 отличны от нуля следующие компоненты $\chi_{ijk}^{(m)}$:

$$\chi_{xxx}^{(m)}, \chi_{xyy}^{(m)}, \chi_{xzz}^{(m)},$$

$$\chi_{yxy}^{(m)} = \chi_{yyx}^{(m)}, \chi_{xzz}^{(m)} = \chi_{zzx}^{(m)}. \quad (2)$$

В фазе АФ-2 все компоненты $\chi_{ijk}^{(m)}$ равны нулю, т. е. процесс ГВГ в дипольном приближении запрещен. Это обусловлено тем, что магнитная группа фазы АФ-2 содержит инверсию, а АФ-1 не содержит.

4. В [7] был проведен симметричный анализ магнитных фаз в ВТСП Nd_2CuO_4 и классифицированы конфигурации, которые реализуются при антиферромагнитном упорядочении ионов меди и неодима. При температурах $70 \text{ K} < T < 245 \text{ K}$ и $1.5 \text{ K} < T < 30 \text{ K}$ в магнитной подсистеме Cu возникает планарная обменно-неколлинеарная структура АФ-1, а при $30 \text{ K} < T < 70 \text{ K}$ подобная структура АФ-2 в магнитной подсистеме Cu. При $T < 1.5 \text{ K}$ происходит также упорядочение магнитных моментов Nd и появляется коллинеарная антиферромагнитная структура АФ-3.

Структура АФ-1 характеризуется магнитным классом D_{4h} (D_4) и преобразуется по НП A_{1u} группы симметрии парафазы D_{4h} . В этом случае тензор НОВ $\chi_{ijk}^{(m)}$ имеет четыре ненулевые компоненты

$$\chi_{xyz}^{(m)} = \chi_{xzy}^{(m)} = -\chi_{yxz}^{(m)} = -\chi_{yzx}^{(m)}. \quad (3)$$

В отличие от АФ-1 структура АФ-2 характеризуется магнитным классом D_{4h} (D_{2d}) и преобразуется по НП B_{2u} группы симметрии D_{4h} . Для такой магнитной конфигурации отличны от нуля следующие компоненты $\chi_{ijk}^{(m)}$:

$$\chi_{xxx}^{(m)} = \chi_{xyy}^{(m)},$$

$$\chi_{xxz}^{(m)} = \chi_{xzx}^{(m)} = -\chi_{yyz}^{(m)} = -\chi_{yzy}^{(m)}. \quad (4)$$

При упорядочении со структурой АФ-3 происходит понижение магнитной симметрии до класса D_{2h} (C_{2v}) (НП A_{2u} группы D_{2h}). У тензора $\chi_{ijk}^{(m)}$ отличны от нуля семь компонент

$$\chi_{xxx}^{(m)} = \chi_{xzz}^{(m)}, \quad \chi_{yzz}^{(m)} = \chi_{zyz}^{(m)},$$

$$\chi_{zzx}^{(m)}, \quad \chi_{xyy}^{(m)}, \quad \chi_{zzz}^{(m)}. \quad (5)$$

5. Воспользовавшись значениями ненулевых компонент $\chi_{ijk}^{(m)}$ (2)–(5) для любой из фаз $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ и Nd_2CuO_4 и задавая поляризацию падающей электромагнитной волны $E(\omega)$, с помощью (1) можно найти ненулевые компоненты $P^{NL}(2\omega)$ [5] и стандартным образом [4] вычислить интенсивность сигнала ГВГ. Поскольку разные магнитные фазы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ и Nd_2CuO_4 характеризуются различными компонентами $\chi_{ijk}^{(m)}$, то поляризационные исследования ГВГ позволят получать информацию о той или иной магнитной структуре, реализующейся в соответствующем ВТСП.

Авторы признательны И. М. Витебскому за полезные консультации.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Головашкин А. И., Горелик В. С., Агальцов А. М., Иванченко О. М., Мицен К. В. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. № 4. С. 155–157.
- [2] Ахманов С. А., Говорков С. В., Коротеев Н. И., Петров Г. И., Шумай И. Л., Яковлев В. В. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1989. Т. 53. № 4. С. 762–768.
- [3] Аншукова Н. В., Балтрамеюнас Р., Васильева М. А., Головашкин А. И., Горелик В. С., Гульбинас В., Крайская К. В., Русаков А. П., Иванова Л. И. // Краткие сообщения по физике. ФИАН СССР. 1990. № 1. С. 21–23.
- [4] Шен И. Р. Принципы нелинейной оптики. М., 1989. 560 с.
- [5] Борисов С. Б., Любчанский И. Л., Соболев В. Л. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 9. С. 158–162.

- [6] Витебский И. М., Колотий О. Д., Лавриненко Н. М., Семиноженко В. П., Соболев В. Л. // ФТН. 1990. Т. 16. № 5. С. 667—673.
 [7] Блинкин В. А., Витебский И. М., Колотий О. Д., Лавриненко Н. М., Семиноженко В. П., Соболев В. Л. // ЖЭТФ. 1990. Т. 98. № 6 [12]. С. 2098—2109.
 [8] Ахмедиев Н. Н., Борисов С. Б., Звездин А. К., Любчанский И. Л., Мелихов Ю. В. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 4. С. 1075—1078.

Донецкий
 физико-технический институт АН УССР
 Институт монокристаллов АН УССР
 Харьков

Поступило в Редакцию
 19 ноября 1990 г.

УДК 532.67

© Физика твердого тела, том 33, № 6, 1991
 Solid State Physics, vol. 33, N 6, 1991

ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛОСТРУКТУРНЫХ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В МАНГАНИТАХ

И. О. Троянчук, С. Н. Пастушонок, В. И. Павлов,
 И. А. Афонская, К. В. Иодковская

1. Известно, что низкотемпературная O' -фаза LaMnO_3 характеризуется антиферродисторсионным упорядочением d_{x^2} -орбиталей в результате кооперативного эффекта Яна—Теллера [1]. Согласно рентгенографическим исследованиям [2], переход в разупорядоченную O -фазу при $T = 700$ К является превращением I рода и сопровождается значительным уменьшением объема элементарной ячейки. Однако при дилатометрических

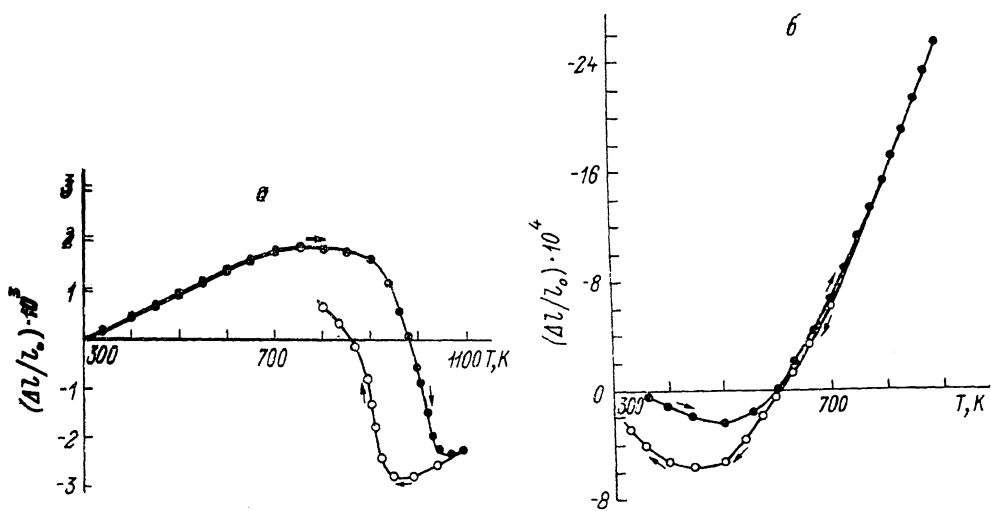


Рис. 1. Зависимость $(\Delta l/l_0)(T)$ образцов $\text{NdMnO}_{3.05}$ (а) и $\text{Nd}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ (б).

исследованиях в районе $O' \rightarrow O$ превращения наблюдался незначительный излом без скачка объема [2]. Поэтому мы провели дилатометрические исследования редкоземельных ортоманганитов RMnO_3 ($R = \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}, \text{Y}$).

Эти соединения также характеризуются антиферродисторсионным упорядочением d_{x^2} -орбиталей, что следует из работы [3], где определены координаты ионов NdMnO_3 и TbMnO_3 . Из данных [3] мы рассчитали длины связей $\text{Mn}-\text{O}$ в октаэдре MnO_6 . Из расчетов следует, что длины связей разбиваются на 2 набора. Две длины $\text{Mn}-\text{O}$ больше других четырех приблизительно на 0.2 \AA . Это может быть обусловлено стабилизацией