

Влияние примесей и внешних полей на генерацию второй гармоники при лазерном облучении керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Я. О. Довгий, И. В. Китык, Р. В. Луцив, С. З. Малинич

Львовский государственный университет им. И. Франко
Украина, 290602, г. Львов, ул. Университетская, 1

Статья поступила в редакцию 14 июля 1997 г.

С использованием одномодового пикосекундного ИАГ- Nd^{3+} лазера ($P = 30$ МВт, $\lambda = 1,06$ мкм) при низких температурах измерялась отраженная генерация второй гармоники (ГВГ) керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, легированной церием. В окрестности T_c обнаружено увеличение сигнала второй гармоники. Концентрационные изменения эффекта связываются с расщеплением вблизи особенностей Ван Хофа. Обнаружена зависимость сигнала ГВГ от величины и направления внешнего магнитного поля.

З використанням одномодового пікосекундного ІАГ- Nd^{3+} лазера ($P = 30$ МВт, $\lambda = 1,06$ мкм) при низьких температурах вимірювалася відбита генерація другої гармоніки (ГДГ) кераміки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, легованої церієм. В околі T_c виявлено збільшення сигналу другої гармоніки. Концентраційні зміни ефекту пов'язуються з розщепленням поблизу особливостей Ван Хофа. Виявлено залежність сигналу ГДГ від величини і напрямку зовнішнього магнітного поля.

PACS: 42.65 Ky, 74.25 Gz, 74.72 Vk

Ранее сообщалось о наблюдении генерации второй гармоники (ГВГ) в центросимметричных (пространственная группа D_{2h}^{17}) высокотемпературных сверхпроводниках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ [1–4]. Как известно, при наличии в кристаллах центра инверсии нелинейно-оптические эффекты, описываемые тензорами третьего ранга, в дипольном приближении запрещены, поскольку все компоненты тензора квадратичной нелинейно-оптической восприимчивости в них тождественно равны нулю. В этом случае явление ГВГ может возникать за счет квадратичной квадрупольной поляризации или под действием постоянного внешнего электрического поля [5]. Однако в центросимметричных средах в дипольном приближении запрет на ГВГ может сниматься при учете квадратичной дипольной поляризации $P^{(2)}(2\omega)$ на поверхности образца. Наличие границы раздела приводит к понижению симметрии, в том числе к исчезновению центра инверсии в группе симметрии приповерхностного

слоя даже для изотропных веществ [5]. Аналогичное явление наблюдалось и в полупроводниках, например для системы $\text{SiO}_2 \setminus \text{Si}(111)$ [6].

При определенном магнитном упорядочении запрет на ГВГ также может сниматься. Например, в антиферромагнитной тетрагональной фазе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ГВГ возникает благодаря существованию магнитной структуры, обусловленной упорядочением ионов меди Cu^{2+} со спином $S = 1/2$. Эта структура описывается векторами ферро- и антиферромагнетизма (L_α , $\alpha = 1, 2, 3$). Генерация второй гармоники наблюдалась также и для сверхпроводящей фазы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ [2,3,7]. В [2] показано, что квадратичная поляризация имеет дипольный характер.

Примечательной особенностью сигнала ГВГ является его существенная температурная зависимость. Сигнал как бы «ощущает» приближение перехода в сверхпроводящее состояние [7].

В настоящей работе исследовалась керамика $\text{Y}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x = 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4$).

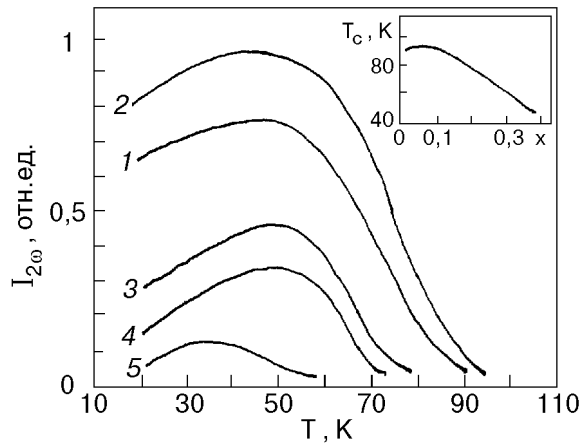


Рис. 1. Температурная зависимость сигнала ОГВГ легированной керамики: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (1); $\text{Y}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, $x = 0,05$ (2); $\text{Y}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, $x = 0,1$ (3); $\text{Y}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, $x = 0,2$ (4); $\text{YBa}_{2-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, $x = 0,4$ (5). На вставке показана зависимость температуры перехода в сверхпроводящее состояние от степени легирования.

Синтез керамики осуществлялся методом твердофазных реакций в потоке кислорода при температуре 1010 К из смеси компонентов Y_2O_3 , BaCO_3 , CuO и легирующей добавки CeO_2 , взятых в стехиометрическом соотношении.

Для возбуждения ГВГ использовался нефокусированный пучок одномодового пикосекундного ИАГ- Nd^{3+} лазера ($P=30$ МВт, $\lambda=1,06$ мкм). Угол падения изменялся от 2 до 48° относительно нормали к поверхности. Сигнал ГВГ выделялся из излучения на основной частоте при помощи монохроматора ЗМР-12 и регистрировался фотоумножителем ФЭУ-79. Измерения проводились в моноимпульсном режиме с частотой повторения 12 Гц. Образцы

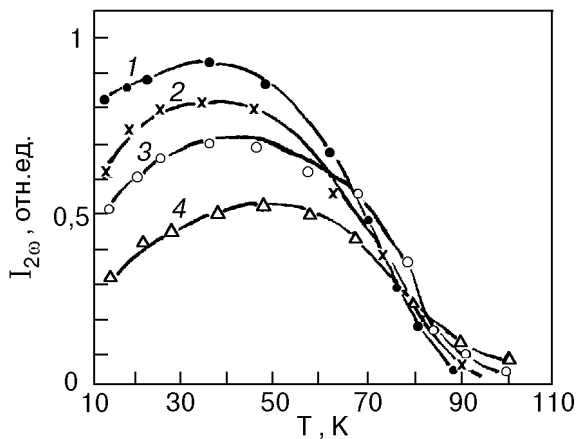


Рис. 2. Температурные зависимости сигнала ОГВГ керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ во внешнем электрическом поле: $E = 0$ (1); $E = 2 \cdot 10^4$ (2); $E = 4 \cdot 10^6$ (3); $E = 5 \cdot 10^7$ В/м (4).

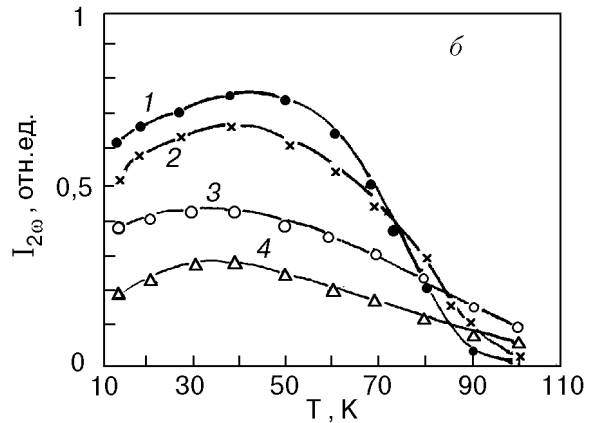
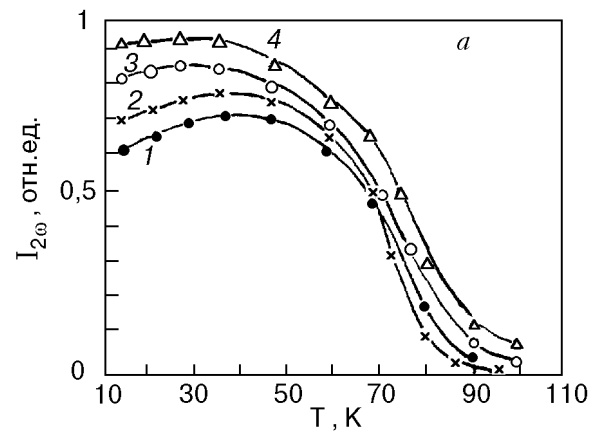


Рис. 3. Температурные зависимости сигнала ОГВГ керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ во внешнем магнитном поле H , параллельном (а) и перпендикулярном (б) плоскости поверхности: $H = 0$ (1); 2 (2); 5 (3); 8 кЭ (4).

помещались в гелиевый криостат. Система УТРЕКС давала возможность плавно изменять температуру в пределах 4,2–300 К.

В работе [8] нами было показано, что наиболее интенсивная отраженная ГВГ (ОГВГ) наблюдалась при легировании керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ церием. С понижением температуры и приближением к точке перехода в сверхпроводящее состояние происходит характерное увеличение сигнала ОГВГ. На рис. 1 отчетливо видна корреляция между интенсивностью ОГВГ и величиной критической температуры T_c для различных образцов. Наличие эффекта, вероятно, связано с локальным нарушением симметрии или же с присутствием ацентрической модуляции. Последняя может быть обусловлена сверхпроводящим спариванием, возникающим благодаря зонному эффекту Яна–Теллера вблизи особенностей Ван Хофа и тесно связанным с проявлением фононного ангармонизма [9]. В кристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ структурная модуляция

может возникать в кислородно-дефицитных плоскостях.

На рис. 2, 3 показаны температурные зависимости сигнала ОГВГ для нелегированной керамики во внешних электрическом и магнитном полях. Магнитное поле, параллельное поверхности образца, усиливает эффект, в то время как поле, направленное перпендикулярно поверхности, подавляет сигнал на частоте 2ω . Это качественно согласуется с результатами работы [10], в которой при объяснении ГВГ учитывается влияние неоднородного магнитоэлектрического эффекта, обусловленного наличием доменных границ.

Таким образом, показана возможность бесконтактной диагностики высокотемпературных сверхпроводников методами нелинейной оптики. Окончательное объяснение явления ГВГ в этих материалах, возможно, приблизит к пониманию самого механизма высокотемпературной сверхпроводимости.

1. С. В. Борисов, И. Л. Любчанский, В. Л. Соболев, *ФТТ* **31**, 158 (1989).
2. С. А. Ахманов, С. В. Говорков, Н. И. Коротеев, Г. И. Петров, И. Л. Шумай, В. В. Яковлев, *Изв. АН СССР* **53**, 762 (1989).
3. J. K. Rice, S. W. McCaluey, A. P. Baronawski, J. S. Horwitz, and D. V. Chrisci, *Phys. Rev.* **B47**, 6086 (1993).
4. В. В. Румянцев, В. Т. Шуняков, *Изв. РАН, сер. физ.* **56**, 178 (1992).

5. И. Р. Шен, *Принципы нелинейной оптики*, Наука, Москва (1989).
6. Fuminori Ito and Hiroyuki Hirayama, *Phys. Rev.* **B50**, 11208 (1994).
7. Ya. O. Dovhyj, I. V. Kityk, R. V. Lutciw, and S. Z. Malynych, *Proc. Intern. School-Conference «Solid State Physics: Fundamental and Applications», Uzhgorod, September 18–26, 1995*, Kiev, 95 (1995).
8. Я. О. Довгий, И. В. Китык, Р. В. Луцив, С. З. Малинич, В сб.: *Материалы 1 Межгосуд. конф. «Материаловедение ВТСП»*, Харьков, 5–9 апреля 1993, т. 3, с. 81 (1993).
9. R. S. Markiewicz, *J. Phys. Chem. Sol.* **52**, 1363 (1991).
10. И. Л. Любчанский, *ФТТ* **37**, 1812 (1995).

Effect of impurities and external fields on second harmonic generation under laser irradiation of ceramics $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Ya. O. Dovhyj, I. V. Kityk, R. V. Lutciw, and S. Z. Malynych

Using a single-mode picosecond YAG-Nd³⁺ laser ($P = 30$ MW, $\lambda = 1,06$ μm) the reflected second harmonic generation (SHG) of cerium doped ceramics $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ was measured at low temperatures. An increase in the second harmonic signal was discovered near T_c . The concentration changes of this effect are connected with splitting near Van Hove singularities. The dependence of the SHG signal on magnitude and direction of external magnetic field was observed.