

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ВТОРОЙ
ОПТИЧЕСКОЙ ГАРМОНИКИ В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКЕ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Р. Балтрамеюнас, М. А. Васильева, В. С. Горелик,
М. Кулакаускас, А. Урбас

Экспериментально исследована температурная зависимость интенсивности второй оптической гармоники лазерного излучения в высокотемпературной сверхпроводящей керамике $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Обнаружен максимум интенсивности второй оптической гармоники вблизи точки сверхпроводящего фазового перехода. Обсуждается связь между явлением ВТСП и структурным фазовым переходом.

Изучение нелинейно-оптических свойств высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) позволяет получить информацию об их микроструктуре и динамике фазовых превращений. Симметрия кристаллической решетки ВТСП определяет правила отбора для нелинейно-оптических процессов и вид тензоров нелинейно-оптических восприимчивостей. Для centrosимметричных кристаллических структур процесс генерации второй оптической гармоники (ВОГ) в дипольном приближении оказывается запрещенным. Кристаллическая структура известных ВТСП, в частности, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, считается centrosимметричной (пространственная группа — D'_{2h}) и, таким образом, наблюдение генерации ВОГ и ВТСП можно связать с квадрупольными и магнитодипольными эффектами, или с отклонением реальной микроструктуры от исходной centrosимметричной структуры.

В работах /1—3/ обнаружено излучение на частоте второй оптической гармоники при облучении лазером высокотемпературных сверхпроводников. В /3/ для широкого класса перовскитоподобных сверхпроводящих керамик установлено, что интенсивность ВОГ может на порядок превышать соответствующую интенсивность centrosимметричных кристаллов. На основании полученных результатов был сделан вывод о возможном наличии в сверхпроводящих перовскитоподобных структурах кристаллической фазы с ацентричной решеткой. Измерения, проведенные в /3/, относятся только к комнатной температуре. Для выяснения связи обсуждаемого явления со сверхпроводящими свойствами ВТСП представляет интерес изучение температурной зависимости ВОГ в широком интервале температур, включающем температуру сверхпроводящего перехода.

В данной работе экспериментально исследована интенсивность ВОГ в высокотемпературной сверхпроводящей керамике $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ($T_c = 92$ К) в диапазоне температур 85 — 300 К. Схема установки приведена в работе /3/. Для возбуждения ВОГ был использован импульсный пикосекундный лазер PL-1033: длина волны 1,06 мкм, длительность импульса 5 пс, частота повторения 1 Гц, энергия в импульсе 1 мДж. Излучение лазера направлялось на поверхность образца под углом 45° и фокусировалось на ней в виде пятна диаметром около 1 мм. Образец помещался на хладопровод в вакуумной части азотного криостата, температура в котором контролировалась термопарой. Часть излучения до падения на образец ответвлялась в систему регистрации. Излучение ВОГ (0,53 мкм) наблюдалось в направлении зеркального отражения и выделялось из отраженного от поверхности пучка при помощи абсорбционного светофильтра и регистрировалось фотоумножителем ФЭУ-106. Сбор и обработка данных осуществлялись на автоматизированном комплексе на базе аппаратуры КАМАК и ЭВМ. Измерялась величина ВОГ по отношению к падающему излучению. Измерения проводились в направлении от низких температур к высоким. Ошибка при измерении интенсивности ВОГ составляла не более 20% (рис. 1).

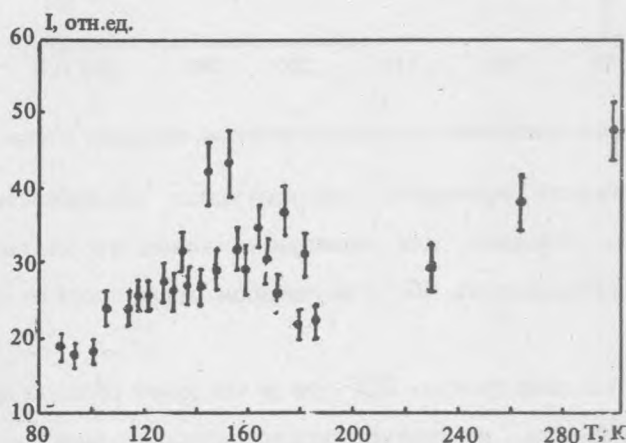


Рис. 1. Температурная зависимость интенсивности второй оптической гармоники $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при отражении лазерного излучения от полированной поверхности образца.

Использовалась промышленная сверхпроводящая керамика, полученная на основе твердотельных реакций между оксидами металлов. Исследовались полированная и неполированная поверхности образца. В случае неполированной поверхности ошибка в измерении интенсивности ВОГ существенно возрастала по сравнению с соответствующими измерениями для полированной поверхности.

Результаты проведенных измерений температурной зависимости интенсивности ВОГ, наблюдаемой в отраженном свете в зеркальном направлении от полированной поверхности керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, иллюстрируются рис. 1. Как видно из рисунка, при изменении температуры от 300 до 180 К наблюдается уменьшение интенсивности ВОГ в 1,5 раза. При дальнейшем приближении к точке сверхпроводящего перехода ($T_c = 92$ К) происходит небольшое возрастание интенсивности сигнала ВОГ с максимумом в области 150 К. Непосредственно вблизи точки сверхпроводящего перехода каких-либо аномалий интенсивности ВОГ не отмечено.

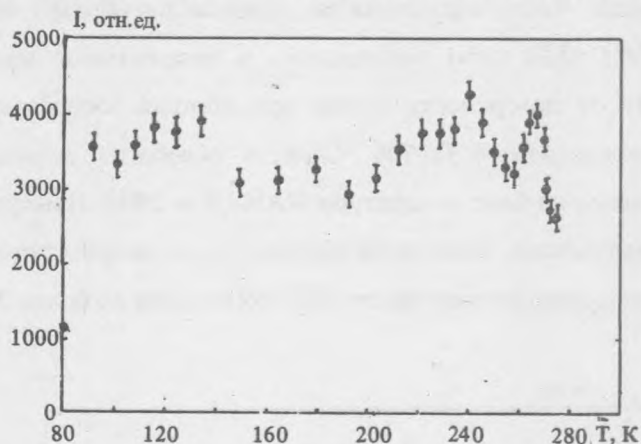


Рис. 2. Температурная зависимость интенсивности второй оптической гармоники в некристаллическом кварце.

На рис. 2. для сравнения приведена температурная зависимость интенсивности ВОГ, измеренная в аналогичных условиях, для поликристаллического кварца. Рисунок показывает немонотонное изменение интенсивности ВОГ с масштабом отклонения от среднего значения около $\pm 12\%$.

Наблюдаемое на рис. 1 падение сигнала ВОГ при охлаждении образца до 180 К можно связать с повышением электропроводности и соответственно уменьшением глубины проникновения возбуждающего излучения внутрь образца, т.е. уменьшением объема вещества, генерирующего ВОГ. Возрастание интенсивности ВОГ при понижении температуры ниже 200 К и существование максимума вблизи 150 К может быть объяснено проявлением структурной неустойчивости ("размягчения") кристаллической решетки в этой области температур. В литературе /4/ имеются полученные при рентгеноструктурных исследованиях данные о наличии структурного перехода, обусловленного упорядочением кислородных вакансий.

Особенности в температурной зависимости ВОГ можно связать со спектром гиперкомбинационного рассеяния света (ГКР). В приближении одной эффективной мягкой моды интенсивность ГКР можно представить в виде:

$$I_{\text{ГКР}} = A [m(\Omega) + 1] \frac{\Omega \Gamma}{(\Omega_0^2 - \Omega^2)^2 + \Gamma^2 \Omega^2}. \quad (1)$$

Здесь A — коэффициент, характеризующий квадрат производной поляризуемости по нормальной координате; $\Omega = 2\omega_0 - \omega'$ — гиперкомбинационный сдвиг; Ω и Γ — соответственно частота и затухание мягкой моды, ответственной за структурный фазовый переход; $m(\Omega) = [\exp(\hbar\Omega/kT)^{-1} - 1]^{-1} \approx kT/\hbar\Omega$ (при $kT \gg \hbar\Omega$) — фактор Бозе-Эйнштейна. В соответствии с обычными представлениями о мягкой моде температурная зависимость для квадрата частоты этой моды имеет вид: $\Omega^2 = a(T - T_c)$ при $T > T_c$ и $\Omega_0^2 = 2a(T_c - T)$ при $T < T_c$. При этом, согласно /1/, для интенсивности ВОГ (рассеяние на частоте $\omega' = 2\omega_0$) получаем следующую температурную зависимость:

$$I_{\text{ВОГ}} = VT/[T - T_c]^2 \text{ при } T > T_c, \quad (2a)$$

$$I_{\text{ВОГ}} = VT/[2(T_c - T)]^2 \text{ при } T < T_c. \quad (26)$$

В соответствии с (2) интенсивность ВОГ вблизи точки структурного перехода возрастает. При этом характер возрастания различен при приближении к точке перехода со стороны высоких и низких температур. Это согласуется с экспериментальной зависимостью.

Таким образом, в данной работе установлено, что интенсивность ВОГ в высокотемпературном сверхпроводнике уменьшается при понижении температуры от комнатной до 180 К. Кроме того, обнаружен максимум интенсивности ВОГ в области 150 К, объясняемый структурной неустойчивостью кристаллической решетки в этой области температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головашкин А. И. и др. Письма в ЖЭТФ, **46**, 155 (1987).
2. Ахманов С. А. и др. Препринт МГУ № 37/1987, М., 1987.
3. Аншук ова Н. В. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 1, 21 (1990).
4. Головашкин А. И. и др. Письма в ЖЭТФ, **46**, 325 (1987).

Поступила в редакцию 12 ноября 1991 г.