

УДК 535.361

О РЕЗОНАНСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИК ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВТСП КЕРАМИКУ $Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO_{4-\delta}$

А. М. Агальцов, В. С. Горелик, С. Д. Зотов,
Е. М. Кудрявцев, Э. Н. Лоткова, Б. Г. Макеев

Исследовано изменение отражения от полированной поверхности ВТСП керамики $Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO_{4-\delta}$ для p -поляризованного лазерного излучения видимого диапазона, падающего на поверхность вблизи угла Брюстера, после воздействия на нее ИК излучения с длинами волн 5.6 мкм и 16-18 мкм. Обнаружено селективное изменение коэффициента отражения в зависимости от длины волны возбуждающего лазера.

При воздействии на электронный ВТСП $Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO_{4-\delta}$ ИК излучения CO_2 -Ar электрогазодинамического лазера, частоты линий генерации которого (540-640 $см^{-1}$; $\lambda = 18 - 16 мкм$) близки к частотам оптических колебаний кислородных связей, вблизи угла Брюстера, наблюдается возрастание коэффициента отражения R для p -поляризованного излучения видимой области [1]. Этот эффект был объяснен локальной "металлизацией" приповерхностных областей в результате изменения распределения кислорода в решетке и увеличения концентрации кислородных вакансий.

Нетермический характер воздействия лазерного излучения с $\lambda = 16.2 - 18.6 мкм$ на ВТСП керамику $NdCeCuO$ подтверждается экспериментами в работе [2], в которой с помощью специально разработанной автоматизированной аппаратуры измерялось брюстерское отражение излучения He-Ne лазера от облучаемой CO_2 -Ar лазером поверхности непосредственно в момент облучения. Там же была получена оценка температуры нагрева поверхности образца в пятне фокусировки $T_s = 20 - 40^\circ C$. Оценка нагрева [2] недавно уточнена в [3], где для максимальной мощности $P_{max} = 0.5 Вт$ того же самого CO_2 -Ar лазера даны максимально достижимые для керамики $NdCeCuO$ значения $T_s = 200^\circ C$.

В настоящей работе получены новые данные, подтверждающие нетермический характер воздействия указанного выше ИК лазерного излучения на образцы керамики $Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO_{4-\delta}$.

В используемой в настоящей работе методике зондирующее излучение лазера на парах меди ($\lambda = 578$ нм), поляризованное в плоскости падения (p -поляризация), падало на горизонтально расположенную поверхность исследуемой керамики под углом $\psi = 53.5^\circ$, близким к углу Брюстера. Этим достигалась сравнительно высокая чувствительность метода определения изменения коэффициента отражения. Абсолютная величина коэффициента отражения в наших экспериментах не определялась, но с точностью до 2% регистрировалось отношение интенсивности отраженного излучения к опорному сигналу. Для исследуемого образца в близких условиях определение абсолютной величины R было проведено отдельно и дало величину $4 \cdot 10^{-3}$ (при $\psi = 50^\circ$ для излучения He-Ne лазера, также поляризованного в плоскости падения).

Чтобы убедиться в резонансном характере воздействия излучения с частотой $540 - 610$ см⁻¹ на $NdCeCuO$, в данной работе повторены все условия [1] кроме частоты колебаний ИК лазера, составлявшей $\simeq 2000$ см⁻¹. Она была выбрана так, чтобы существенно превосходить фоновые частоты решетки $NdCeCuO$, лежащие в интервале $100 - 700$ см⁻¹. Исследование отражения видимого света проводилось той же методикой, на той же длине волны зондирующего излучения, от поверхности тех же керамических образцов, что и в работе [4] после облучения поверхности образца ИК излучением электроразрядного CO лазера (16-18 мкм). Излучение этого лазера - многолинейчатое в спектральном диапазоне 5-6 мкм, но большая часть мощности генерации приходится на спектральную область около 5.6 мкм ($\simeq 1800$ см⁻¹) [5].

Кроме того, были повторены эксперименты с облучением керамики $Nd_{1.85}Ce_{0.15}CuO_{4-\delta}$ ИК излучением с частотами $540 - 610$ см⁻¹. В результате при одинаковых внешних условиях на различных образцах получены усредненные по всей облучаемой поверхности значения $\Delta R = 4, 3, 2, 11$ и 28%. Относительно большой разброс в значениях ΔR может быть обусловлен неоднородностью рассматриваемых образцов, что обсуждалось в работе [1].

Для сравнения с результатом облучения излучением (5.6 мкм) был выбран образец, на котором после облучения 16-18 мкм лазером ΔR достигало величины 28%. Было проведено две серии экспериментов, в которых анализировался эффект после облучения двух ранее не экспонированных различных участков. Использовалась полированная таблетка ВТСП керамики $NdCeCuO$ диаметром 10 мм.

Поскольку в [1] CO_2 -Ar лазер работал в импульсно-периодическом режиме с длительностью отдельного импульса ≈ 120 мс, числе импульсов при облучении ≈ 200 и плотности мощности излучения $P = 0.6 - 1.2$ Вт/мм², в случае СО лазера для получения импульсного излучения с аналогичными временными параметрами пучок излучения модулировался с помощью вращающегося диска с отверстиями. Длительность импульса составляла 75 мс, интегральное время облучения 30 с, $P = 3$ Вт/мм², т.е. плотность мощности была больше, чем в [1], но не настолько велика, чтобы в результате облучения поверхность образца портилась. Исследуемая часть поверхности образца выделялась экраном с круглым отверстием диаметром 2.4 мм (рис. 1); она ранее не облучалась. Диаметр сечения лазерного пучка на поверхности составлял ≈ 0.4 мм в случае лазера с длиной волны 5.6 мкм и ≈ 0.8 мкм в случае 16 - 18 мкм лазера. Общее управление установкой, определение R и наглядное воспроизведение его пространственного распределения осуществлялось как и в [1], с помощью компьютера IBM PC.

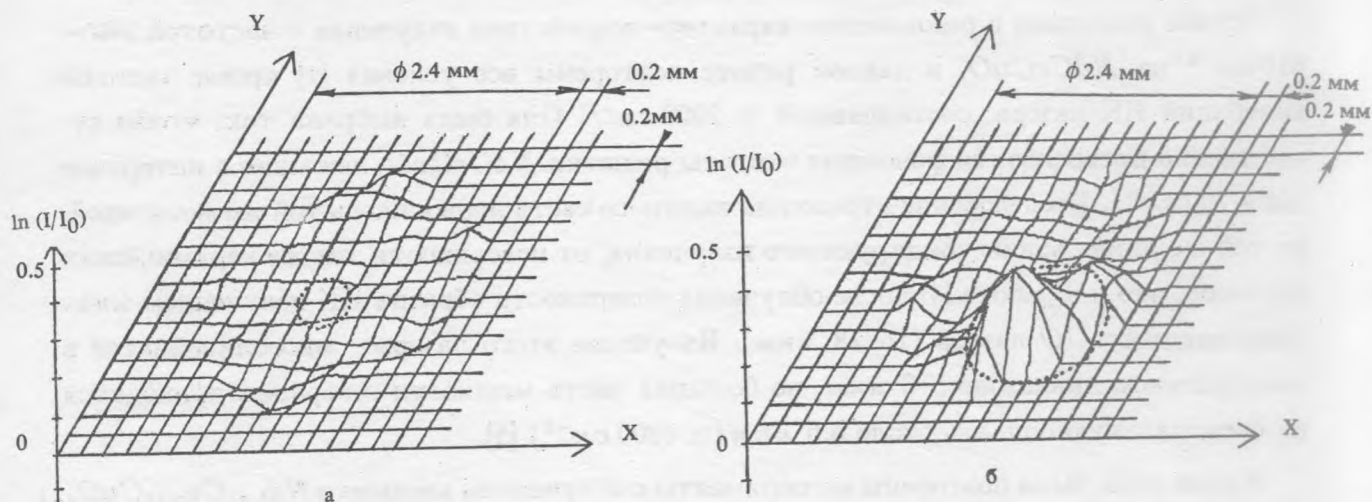


Рис. 1. Пространственное распределение отношения интенсивностей отраженного света I_0 и I до и после ИК облучения с длиной волны: а) $\lambda = 5.6$ мкм; б) $\lambda = 16 - 18$ мкм. X и Y - координаты исследуемой поверхности. Пределы (по оси Z) рассматриваемых значений $\ln(I/I_0)$ заданы от -1 (где $(I/I_0) = 0.368$) до $+1$ (где $(I/I_0) = 2.7$). Пунктирной линией обозначено сечение ИК пучка на исследуемой поверхности.

На рис. 1а представлено графическое изображение пространственного распределения отношения (в логарифмическом масштабе) интенсивности отраженного света после ИК облучения I к интенсивности отраженного света до ИК облучения I_0 . Определение интенсивности света, отраженного от поверхности образца, проводилось методом дис-

кретного сканирования по всей исследуемой области с шагом 200 мкм и локализацией участков размером 75 мкм. Пределы рассматриваемых значений $\ln(I/I_0)$ задавались от -1 до +1. Пунктирной линией обозначено сечение ИК пучка на исследуемой поверхности. Для сравнения на рис. 16 представлено относительное распределение величин $\ln(I/I_0)$ в случае облучения CO_2 -Ar лазером той же таблетки, но на другом участке поверхности (диаметр 1 мм, $P = 1 \text{ Вт/мм}^2$, среднее значение $\Delta R = 28\%$). При условии, что в течение всего эксперимента величина опорного сигнала, по отношению к которому измеряется величина интенсивности отраженного света, остается неизменной, можно считать, что $(I/I_0) = (R/R_0)$, где R – коэффициент отражения после облучения, R_0 – та же величина до облучения и рис. 1 отражает пространственное распределение R/R_0 . Сравнительно большие изменения коэффициента отражения по краям окна в экране диаметром 2.4 мм обусловлены бликами и искажениями сигнала за счет отражения на краях экрана. Как видно из рис. 1, в случае $\lambda = 5.6 \text{ мкм}$ распределение более однородно, и R/R_0 не превышает в области облучения общего фона. Как отмечалось выше, наблюдаемые неоднородности коэффициента отражения по всей исследуемой области могут быть вызваны неоднородностями исследуемой керамики.

Анализ полученных результатов показал, что если в результате облучения лазером с $\lambda = 16 - 18 \text{ мкм}$ величина R возрастала на величину до 28%, что связывается с повышением концентрации кислородных вакансий, то при облучении с $\lambda = 5.6 \text{ мкм}$ она оставалась неизменной в пределах ошибки измерений, т.е. концентрация кислородных вакансий не изменялась.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают резонансный характер воздействия на ВТСП керамику, в частности на $NdCeCuO$, излучения с $\lambda = 16 - 18 \text{ мкм}$ ($610 - 540 \text{ см}^{-1}$).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А г а л ь ц о в А. М. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1-2, 28 (1992).
- [2] З о т о в С. Д. и др. Препринт ФИАН N 133, М., 1991.
- [3] З о т о в С. Д. и др. Препринт ФИАН N 12, М., 1993.
- [4] Л о т к о в а Э. Н. В сб.: "Методы инфракрасной диагностики" (под ред. Р. Н. Солоухина), изд. АН БССР, 1982, Минск, с. 92.
- [5] К о н ь к о в А. А. и др. ПТЭ, N 3, 189 (1986).

Поступила в редакцию 27 октября 1993 г.