

02.07

Ограничение излучения CO₂-лазера в композитном материале с наночастицами серебра

© О.П. Михеева, А.И. Сидоров

Научно-исследовательский институт лазерной физики, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 19 апреля 2001 г.

Представлены экспериментальные результаты по оптическому ограничению импульсного излучения с длиной волны $10.6 \mu\text{m}$ в композите, состоящем из диэлектрической среды с линейными оптическими свойствами и наночастиц серебра. Установлено, что энергетический порог ограничения импульса излучения длительностью $2 \mu\text{s}$ не превышает $10 \mu\text{J}/\text{cm}^2$.

Оптические композиты с наночастицами полупроводников и металлов находят применение в качестве быстродействующих переключателей импульсного лазерного излучения [1–4]. Одной из причин высокой нелинейной восприимчивости композитов с наночастицами металла в видимой области спектра является усиление поля вблизи частиц вследствие возникновения плазмонного резонанса [2,3]. В данной работе экспериментально показано, что и в среднем ИК диапазоне в композите с наночастицами металла возможно увеличение оптической нелинейности, приводящее к низкопороговому ограничению излучения.

Композит изготавливался из оптического материала KRS-13, состоящего из 75% AgBr и 25% AgCl, который прозрачен и имеет линейные оптические свойства в среднем ИК диапазоне. Для создания наночастиц серебра материал подвергался плавлению при $t = 450^\circ\text{C}$ при одновременном его освещении излучением видимой области спектра. При этом происходило частичное разложение его компонентов с выделением металлического серебра. В эксперименте использовались полированные пластины композита толщиной 1.5 mm без антиотражающих покрытий. Объемная доля частиц серебра в композите, по оценке, не превышала 10%. Коэффициент пропускания пластин на длине волны $10.6 \mu\text{m}$ для непрерывного излучения низкой интенсивности был равен 75%. Коэффициент пропускания исходного материала KRS-13 на данной

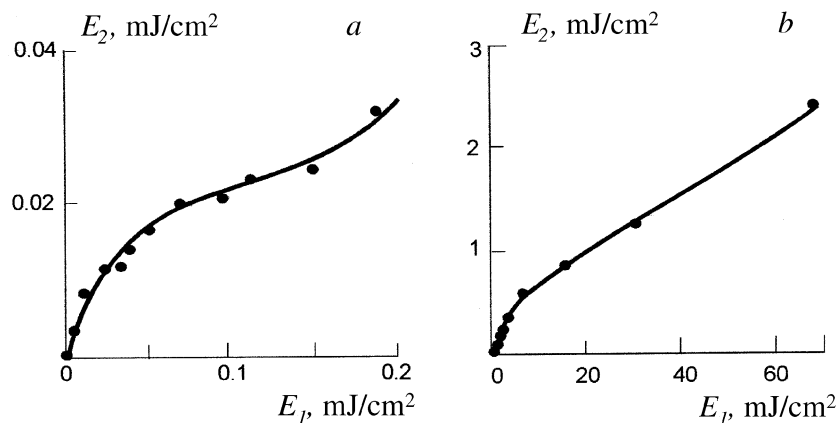


Рис. 1. Зависимость плотности энергии излучения, прошедшего через композит, от плотности энергии падающего излучения.

длине волны равен 80%. Источником излучения служил импульсный многомодовый ТЕА-СО₂-лазер с длиной волны генерации 10,6 μm и длительностью импульса генерации по основанию 2 μs . Измерения проводились в параллельном пучке. Прошедшее через образец излучение собиралось на фотоприемное устройство с помощью короткофокусной линзы из КС1.

На рис. 1 показаны начальный участок кривой ограничения (а) и вся кривая ограничения (b) вплоть до плотности энергии излучения, падающего на пластину композита, E_1 , равной 70 mJ/cm^2 . Из рисунка видно, что энергетический порог ограничения, соответствующий отклонению зависимости $E_2(E_1)$ от линейной (здесь E_2 — энергия излучения, выходящего из пластины), не превышает 10 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$. При $E_1 = 70 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ коэффициент ослабления падающего излучения равен 30. Эффект ограничения излучения является обратимым, так как при проведении измерений, начиная от максимальных значений E_1 , характер зависимости $E_2(E_1)$ не меняется в пределах погрешности измерений. На рис. 2 показана зависимость коэффициента пропускания композита от плотности энергии падающего излучения. Из рисунка видно, что в интервале E_1 от 0 до 100 mJ/cm^2 существуют две области ограничения — низкогопороговая ($E_1 = 10 - 100 \mu\text{J}/\text{cm}^2$) и область с высоким порогом ограничения ($E_1 > 1 \text{ mJ}/\text{cm}^2$). В интервале E_1 от 0.1

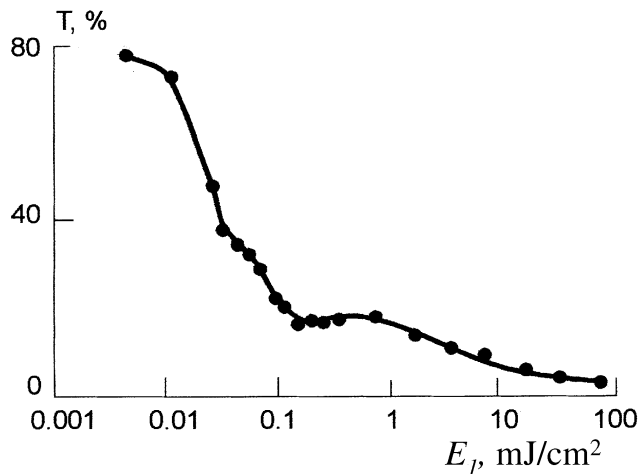


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания пластины композита от плотности энергии падающего излучения.

до 1 mJ/cm^2 коэффициент пропускания композита имеет практически постоянную величину, примерно равную 15%.

Наличие низкопороговой области ограничения излучения указывает на то, что в композите происходит усиление поля вблизи частиц вследствие плазмонного резонанса. Однако для композита, состоящего из наночастиц серебра в линейной диэлектрической среде, область плазмонного резонанса лежит в видимой области спектра [2,3]. Можно предположить, что в исследованном нами композите частицы серебра представляют собой не сплошные металлические зерна, а имеют сложную фрактальную структуру с пустотами, заполненными диэлектриком. В этом случае их можно характеризовать эффективной комплексной диэлектрической проницаемостью, зависящей как от формы частиц, так и от соотношения диэлектрической и металлической компонент. Очевидно, что модуль действительной и мнимая часть диэлектрической проницаемости такой частицы будут меньше соответственно модуля действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости серебра. В этом случае происходит сдвиг плазмонного резонанса в длинноволновую область спектра.

Причиной возникновения высокопороговой области ограничения ($E_1 > 1 \text{ mJ/cm}^2$) могут быть тепловые эффекты, связанные с температурным изменением показателя преломления и поглощения диэлектрика вблизи металлических частиц. Температурные изменения оптических свойств KRS-13 становятся заметными при $t > 200^\circ\text{C}$. В то же время при $E_1 = 1 \text{ mJ/cm}^2$, согласно нашим расчетам, при учете только поглощения изменение температуры не превышает десятков градусов. Поэтому можно предположить, что в данном случае также существенную роль играет усиление поля вблизи частиц, приводящее к сильному разогреву тонкого слоя диэлектрика, окружающего металлические частицы.

Таким образом, экспериментально установлено, что в композите, состоящем из наночастиц серебра и линейной диэлектрической среды, на длине волны $10.6 \mu\text{m}$ возникает низкопороговая оптическая нелинейность, приводящая к оптическому ограничению. Данный эффект может быть использован для управления лазерным излучением, а также для защиты фотоприемных устройств от воздействия интенсивного излучения среднего ИК диапазона.

Работа выполнена при финансовой поддержке МНТЦ (грант № 1454).

Список литературы

- [1] *Leung K.M.* // Physical Review A. 1986. V. 33. N 4. P. 2461.
- [2] *Neeves A.E., Birnboim M.H.* // J. Opt. Soc. Am. B. 1989. V. 6. N 4. P. 787.
- [3] *Stroud D., Van Wood E.* // J. Opt. Soc. Am. B. 1989. V. 6. N 4. P. 778.
- [4] *Бобович Я.С.* // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 1. С. 6.