

07

## Оптическое ограничение лазерных импульсов в спектральной области 3.8–4.2 $\mu\text{m}$ композитом с наночастицами серебра

© И.В. Багров, А.П. Жевлаков, О.П. Михеева,  
А.И. Сидоров, В.В. Судариков

Научно-исследовательский институт лазерной физики, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 21 ноября 2001 г.

Представлены экспериментальные результаты по нелинейно-оптическому ограничению лазерных импульсов в спектральной области 3.8–4.2  $\mu\text{m}$  в композитном материале на основе галогенидов серебра с наночастицами металлического серебра. Показано, что при длительности лазерного импульса 250 пс порог ограничения равен 5 мД/см<sup>2</sup>, а динамический диапазон ограничения превышает 10.

Композитные материалы с наночастицами металлов перспективны для создания быстродействующих нелинейно-оптических устройств видимого и ближнего ИК диапазона [1–3]. Спектральная область их применения определяется спектральным положением плазмонного резонанса металла, из которого состоят наночастицы. Так, плазмонному резонансу Ag соответствует длина волны 0.39  $\mu\text{m}$ , Au — 0.52  $\mu\text{m}$  [3,4]. Для наночастиц, имеющих сложную структуру, плазмонный резонанс и связанная с ним оптическая нелинейность могут быть смещены в ближний ИК диапазон, например, для частиц из Au — в спектральную область 0.8–1.2  $\mu\text{m}$  [4].

В данной работе показано, что композитный материал, содержащий наночастицы серебра, может проявлять оптическую нелинейность и в среднем ИК диапазоне, причем эта нелинейность приводит к оптическому ограничению излучения.

Исходным материалом для композита служил оптический материал KRS-13, состоящий из бромидов серебра (65%) и хлорида серебра (35%). Композит изготавливался путем плавления KRS-13 в вакууме с одновременным освещением расплава излучением видимой

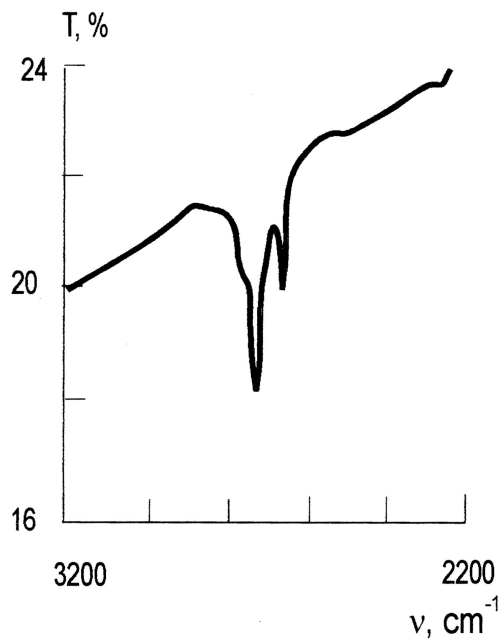
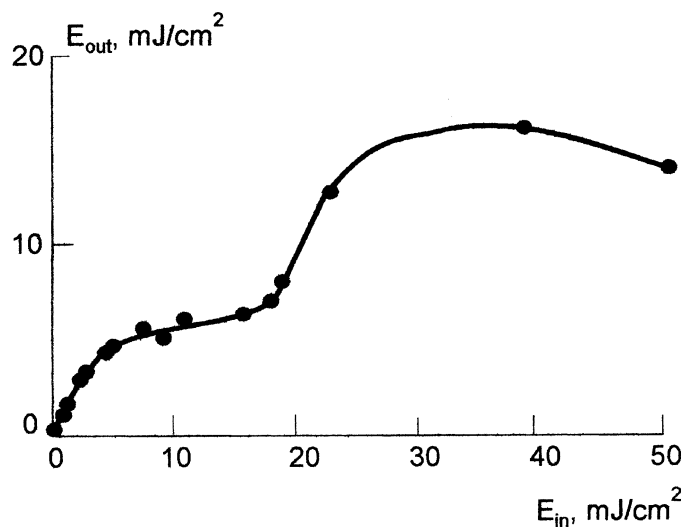


Рис. 1. Спектр пропускания пластины композита толщиной 1.5 mm.

области спектра. В результате такой обработки, после кристаллизации, на спектре пропускания появляется минимум вблизи  $\lambda = 3 \mu\text{m}$  (рис. 1), отсутствующий в спектре пропускания исходного материала.

Для исследования нелинейных свойств композита использовался электроразрядный DF-лазер с длительностью импульса генерации 250 ps и спектром генерации, состоящим из серии спектральных линий в диапазоне 3.8–4.2  $\mu\text{m}$ . На рис. 2 показана зависимость плотности энергии излучения, прошедшего через пластину композита толщиной 1.5 mm ( $E_{out}$ ), от плотности энергии падающего излучения ( $E_{in}$ ). На зависимости видны две области ограничения излучения. Первой области ограничения соответствует порог ограничения  $E_{in} = 5 \text{ mJ/cm}^2$ , второй —  $E_{in} = 25 \text{ mJ/cm}^2$ . При  $E_{in} < 5 \text{ mJ/cm}^2$  зависимость  $E_{out}(E_{in})$  линейна. Эффект ограничения является обратимым и многократно воспроизводится.



**Рис. 2.** Зависимость плотности энергии излучения, прошедшего через пластину композита, от плотности энергии падающего излучения.

При освещении расплава KRS-13 в нем происходит фотолиз молекул  $\text{AgCl}$  и  $\text{AgBr}$  с образованием наночастиц металлического серебра. В процессе кристаллизации расплава частицы серебра осаждаются на поверхности зерен галогенида серебра в виде островковой пленки. Расчет диэлектрической проницаемости островковой пленки серебра, проведенный по методу, описанному в [5], показал, что она отличается от диэлектрической проницаемости сплошной пленки серебра и имеет сильную дисперсию в 3-микронной области спектра.

Как показали электронно-микроскопические исследования, зерна галогенида серебра после кристаллизации имеют форму вытянутых эллипсоидов размером 150–200 нм. Поэтому композит можно рассматривать как диэлектрическую среду, содержащую частицы эллиптической формы с диэлектрическим ядром и оболочкой из островковой пленки серебра. Расчет оптических свойств такого композита в приближении сферических частиц с оболочкой [4,6] показал наличие максимума на спектральной зависимости сечения поглощения и рассеяния при  $\lambda \approx 3 \mu\text{m}$ . Кроме того, на данной длине волны для композита

выполняется условие возникновения плазмонного резонанса [6]. Таким образом, появление полосы поглощения на спектре пропускания композита (рис. 1) вызвано сдвигом плазмонного резонанса в 3-микронную область спектра. Наличие тонкой структуры в полосе поглощения может быть связано с разбросом наночастиц серебра по форме и размерам.

Причиной возникновения эффекта ограничения в спектральной области 3.8–4.2  $\mu\text{m}$  является сдвиг полосы поглощения, связанной с плазмонным резонансом, от 3 к 4  $\mu\text{m}$  при одновременном увеличении коэффициента поглощения. Расчет показывает, что такой процесс происходит уже при малом ( $< 1\%$ ) увеличении показателя преломления диэлектрической составляющей композита. Галогениды серебра обладают пьезооптическими и упругооптическими свойствами [7]. Поэтому изменение показателя преломления может быть вызвано электрострикцией [6,8] в условиях локального усиления амплитуды поля [6] внутри и вблизи частиц композита при плазмонном резонансе. Причиной возникновения второй области ограничения при  $E_{in} > 25 \text{ mJ/cm}^2$  является изменение диэлектрической проницаемости компонент композита за счет тепловых эффектов.

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

## Список литературы

- [1] Haus J.W., Kalyaniwalla N., Inguwa R. et al. // J. Opt. Soc. Am. B. 1988. V. 6. N 4. P. 797.
- [2] Haus J.W., Zhou H.S., Hirasawa T.M. et al. // J. Appl. Phys. 1993. V. 73. N 3. P. 1043.
- [3] Averitt R.D., Westcott S.L., Halas N.J. // J. Opt. Soc. Am. B. 1999. V. 16. N 10. P. 1814.
- [4] Averitt R.D., Westcott S.L., Halas N.J. // J. Opt. Soc. Am. B. 1999. V. 16. N 10. P. 1824.
- [5] Yamaguchi T., Takahashi H., Sudoh A. // J. Opt. Soc. Am. 1978. V. 68. N 8. P. 1039.
- [6] Neeves A.E., Birnboim M.H. // J. Opt. Soc. Am. B. 1989. V. 6. N 4. P. 787.
- [7] Акустические кристаллы / Под ред. М.П. Шаскольской. М.: Наука, 1982. 632 с.