

07

## Оптическое ограничение 10-микронного излучения наночастицами хлорида серебра

© О.П. Михеева, А.И. Сидоров

Институт лазерной физики, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 23 июля 2003 г.

Представлены экспериментальные результаты по нелинейно-оптическому ограничению микросекундных импульсов  $\text{CO}_2$ -лазера наночастицами хлорида серебра с оболочкой из островковой пленки серебра в матрице из иодида калия. Получен порог ограничения  $15 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  и динамический диапазон ограничения  $10^3$ .

Нелинейно-оптические ограничители излучения (лимитеры) представляют практический интерес для защиты органов зрения и фотоприемных устройств от воздействия интенсивного лазерного излучения (например, [1]). В среднем ИК-диапазоне эффект ограничения возникает в наночастицах галогенидов серебра, полученных плавлением и последующей кристаллизацией данных материалов на свету [2–4]. В процессе такой обработки происходит частичный фотолиз галогенида серебра с выделением частиц металлического серебра в виде островковой пленки на поверхности кристаллитов галогенида [4]. В наночастицах с такой структурой, имеющих диэлектрическое ядро с оболочкой из островковой металлической пленки, возникают плазмонные резонансы в среднем ИК-диапазоне, приводящие к локальному усилению поля электромагнитной волны и увеличению эффективной оптической нелинейности наночастиц [4]. Однако в нелинейной среде, полученной методом, описанным выше, невозможно контролировать концентрацию наночастиц с требуемыми оптическими свойствами и управлять нелинейно-оптическими характеристиками среды. Более перспективной технологией является введение нелинейных наночастиц с заданной концентрацией в прозрачную среду с линейными свойствами. В данной работе описаны нелинейно-оптические свойства наночастиц хлорида серебра с оболочкой из островковой пленки серебра в прозрачной

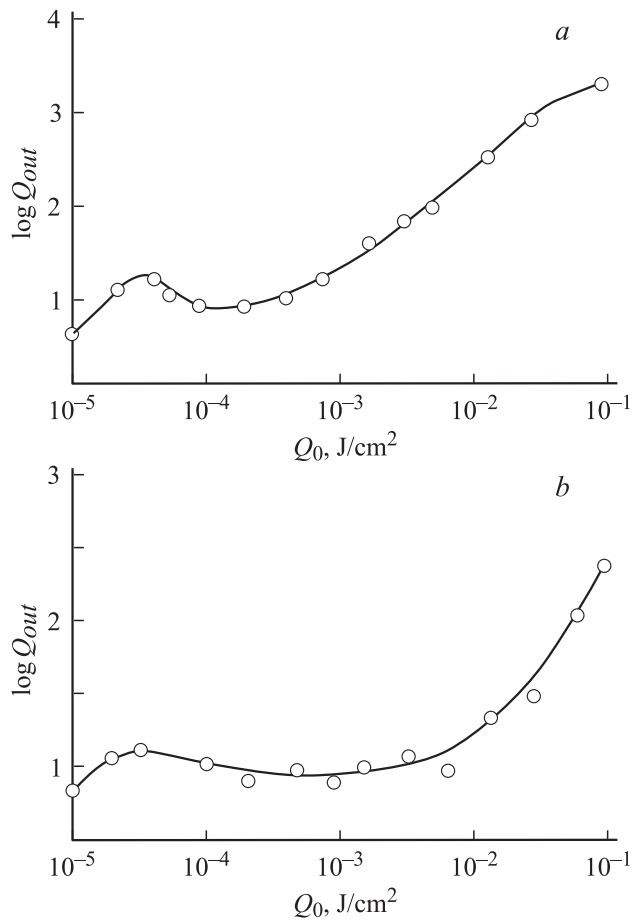
матрице из иодида калия на длине волны  $10.6\ \mu\text{m}$  и рассмотрено влияние их концентрации на характеристики ограничения.

Экспериментальные образцы изотавливались следующим образом. Порошок хлорида серебра ( $\text{AgCl}$ ) смешивался с порошком иодида калия ( $\text{KI}$ ). Объемная концентрация  $\text{AgCl}$  в  $\text{KI}$  варьировалась от 1 до 5%. Смесь подвергалась тепловой обработке на свету — нагревалась до температуры плавления  $\text{AgCl}$  ( $460^\circ\text{C}$ ) и затем охлаждалась. Анализ, проведенный с помощью электронно-лучевого микроскопа, показал, что наночастицы  $\text{AgCl}$  после такой обработки имеют форму слабо вытянутых эллипсоидов с характерным размером 200–300 нм. Полученный порошок перетирался, и из него прессовались таблетки диаметром 8 и толщиной 1 мм. Линейный коэффициент пропускания образцов, при низкой интенсивности излучения, на длине волны  $10.6\ \mu\text{m}$  составлял 60%.

Источником излучения в экспериментах служил импульсный ТЕА- $\text{CO}_2$ -лазер с длиной волны генерации  $10.6\ \mu\text{m}$  и длительностью импульса излучения  $1.5\ \mu\text{s}$ . На рисунке показаны зависимости энергии прошедшего излучения от плотности энергии падающего излучения для образцов с концентрацией  $\text{AgCl}$   $f = 1\%$  (*a*) и  $f = 5\%$  (*b*). Из рисунка видно, что при  $f = 1\%$  порог ограничения излучения равен  $25\ \mu\text{J}/\text{cm}^2$ , а динамический диапазон ограничения составляет примерно 50. При увеличении концентрации наночастиц  $\text{AgCl}$  до 5% порог ограничения уменьшается до  $15\ \mu\text{J}/\text{cm}^2$ , а динамический диапазон возрастает до  $10^3$ . Порог разрушения образцов излучением превышает  $3\ \text{J}/\text{cm}^2$ .

Эффект ограничения связан со спектральным сдвигом и увеличением амплитуды полос плазмонного резонанса вследствие пьезооптического эффекта в ядре наночастицы [4]. Данный процесс сопровождается увеличением сечения поглощения и рассеяния наночастиц. Минимум на кривых ограничения соответствует спектральному совпадению максимума полосы плазмонного резонанса с длиной волны излучения. Ограничение прекращается, когда полоса плазмонного резонанса полностью смещается с длины волны излучения.

Уменьшение порога ограничения при увеличении концентрации наночастиц  $\text{AgCl}$  связано с тем, что коэффициент экстинкции среды с наночастицами растет с ростом их концентрации, а энергия прошедшего излучения экспоненциально зависит от коэффициента экстинкции. Поэтому слабо выраженная оптическая нелинейность среды на начальной



Ограничение излучения наночастицами AgCl в матрице из КЛ.  $\lambda = 10.6 \mu m$ ,  $\tau = 1.5 \mu s$ . *a* —  $f = 1\%$ , *b* —  $f = 5\%$ .

стадии процесса (при малых  $Q_0$ ) при большей концентрации наночастиц сильнее влияет на пропускание среды.

Увеличение динамического диапазона при увеличении концентрации наночастиц объясняется динамикой прохождения импульса излучения через толстую оптически нелинейную среду. При высокой концентрации наночастиц происходит многократное рассеяние излучения в среде,

поэтому задние, по ходу распространения пучка, слои среды проявляют оптическую нелинейность при более высокой интенсивности падающего излучения.

Таким образом, описанная методика приготовления среды с наночастицами галогенида серебра, обладающими нелинейно-оптическими свойствами, позволяет управлять порогом ограничения излучения и динамическим диапазоном ограничения.

## Список литературы

- [1] *Swaleu J.D., Kajzar F.* // NLO В. 2000. V. 27. N 1–4. P. 13–32.
- [2] *Михеева О.П., Сидоров А.И.* // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 18. С. 50–53.
- [3] *Багров И.В., Жевлаков А.П., Михеева О.П.* и др. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 13. С. 40–43.
- [4] *Сидоров А.И.* // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 2. С. 9–14.