

07

Самодефокусировка излучения в композитном материале с наночастицами ZnSe:O

© О.П. Виноградова, М.С. Марухина, А.И. Сидоров

ФГУП НИИ лазерной физики, С.-Петербург

E-mail: sidorov@ilph.spb.su

Поступило в Редакцию 7 февраля 2005 г.

Представлены экспериментальные результаты по самодефокусировке наносекундных лазерных импульсов с длиной волны 0.53, 1.06 и 1.54 μm в толстом композитном материале с наночастицами селенида цинка, легированного кислородом. Показано, что в такой среде может быть обеспечен линейный коэффициент пропускания 50–60%, а энергетический порог возникновения нелинейно-оптического отклика — 20–50 pJ.

Эффект самодефокусировки излучения в полупроводниках при фотогенерации свободных носителей заряда представляет практический интерес для создания нелинейно-оптических переключателей и ограничителей излучения. Достаточно подробно данный эффект исследован в монокристаллах беспримесных полупроводников (Si, GaAs, ZnSe [1,2]), а также в монокристаллах полупроводников, содержащих глубокие примесные уровни [3]. В первом случае для создания неравновесной концентрации носителей заряда используются однофотонные либо двухфотонные межзонные переходы, во втором — фотоионизация глубоких примесных уровней. В обоих случаях первичным процессом является поглощение излучения, поэтому коэффициент пропускания среды до возникновения нелинейно-оптического отклика, как правило, составляет 1–30% в видимой области спектра и 50–80% в ближнем ИК-диапазоне. В данной работе исследована возможность увеличения линейного коэффициента пропускания сред с самодефокусировкой за счет использования композитных материалов, содержащих наночастицы полупроводника.

В экспериментах использовались наночастицы ZnSe, легированного кислородом с концентрацией 10^6 – 10^{17} cm^{-3} . Средний размер

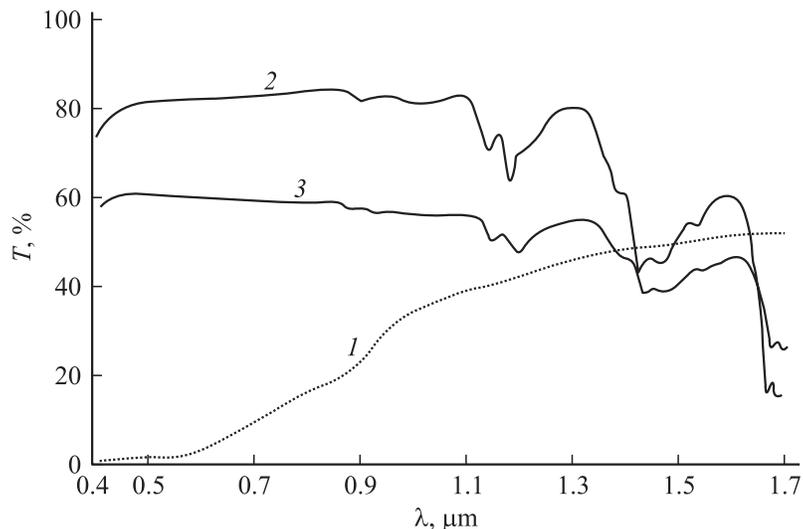


Рис. 1. Спектры пропускания монокристалла ZnSe:O (1), эпоксидного компаунда (2) и композитного материала с наночастицами ZnSe:O (3). Толщина образцов — 5 mm.

наночастиц составлял 50 nm. Наночастицы вводились в оптический эпоксидный компаунд с объемной концентрацией 0.5–1%. Толщина образцов композита составляла 5 mm. В качестве источников излучения использовались YAG:Nd-лазер ($\lambda = 0.53$ и $1.06 \mu\text{m}$, $\tau = 10$ ns) и лазер на эрбиевом стекле ($\lambda = 1.54 \mu\text{m}$, $\tau = 20$ ns).

Изготовленные образцы композита были прозрачны в видимой области спектра (со слабым желтым оттенком). Монокристаллы ZnSe:O при концентрации примеси 10^{16} – 10^{17} cm^{-3} окрашены в темно-красный цвет. На рис. 1 показаны спектры пропускания монокристалла ZnSe:O (кривая 1), чистого эпоксидного компаунда (кривая 2) и композитного материала с наночастицами ZnSe:O (кривая 3). Из рисунка видно, что в видимой области спектра линейное пропускание композитного материала значительно превышает пропускание монокристалла ZnSe:O. Так, на $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ коэффициент пропускания возрастает от 0.5 до 60%, на $\lambda = 0.7 \mu\text{m}$ — от 8 до 59%. В то же время для $\lambda > 1.4 \mu\text{m}$ выигрыш в

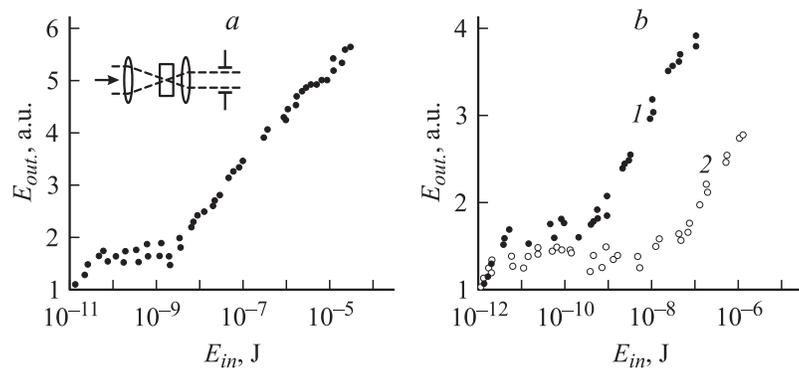


Рис. 2. Ограничение излучения в композитном материале с наночастицами ZnSe:O: *a* — $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$; *b* — $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ (1), $\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ (2). На вставке — оптическая схема эксперимента.

пропускании отсутствует из-за наличия полос поглощения в эпоксидном компаунде, однако при соответствующем выборе прозрачной матрицы для наночастиц можно ожидать увеличения коэффициента пропускания и в спектральном интервале $1.4\text{--}2 \mu\text{m}$.

Оптическая схема экспериментов показана на вставке в рис. 2, *a*. Образец композита помещался в фокальную плоскость телескопа с фокусным расстоянием первой линзы 9 см. Диафрагма обеспечивала пропускание 95% излучения до возникновения нелинейно-оптического отклика. Экспериментальные зависимости энергии излучения за диафрагмой от энергии падающего излучения представлены на рис. 2. Для $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$ порог ограничения излучения E_{thr} равен 30 pJ, динамический диапазон ограничения D равен 100 (D — отношение максимальной энергии, при которой имеет место ограничение, к E_{thr}). Для $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ — $E_{thr} = 3 \text{ pJ}$, $D = 200$. Для $\lambda = 1.54 \mu\text{m}$ — $E_{thr} = 2 \text{ pJ}$, $D = 4 \cdot 10^3$. На зависимости для $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$ присутствует также область ограничения при $E_{in} = 1\text{--}10 \mu\text{J}$.

Эффект ограничения излучения в композитном материале вызван самодефокусировкой излучения при однофотонной генерации свободных носителей заряда с глубоких примесных уровней в наночастицах ZnSe:O. Увеличение концентрации носителей заряда приводит к уменьшению показателя преломления наночастиц в области воздействия

излучения, а следовательно, к уменьшению эффективного показателя преломления композита и образованию отрицательной динамической линзы [4]. Порог ограничения снижается с увеличением длины волны, так как нелинейная добавка к показателю преломления $\Delta n \sim \lambda^2$. При увеличении E_{in} эффект ограничения исчезает, что вызвано двумя причинами: насыщением примесного поглощения и образованием положительной динамической линзы при нагреве наночастиц излучением. Так как с уменьшением длины волны поглощение ZnSe:O увеличивается (рис. 1, кривая 1), то наиболее существенно тепловые процессы влияют на динамический диапазон ограничения в видимой области спектра. Однако на $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$ вклад в ограничение излучения может вносить и двухфотонное межзонное поглощение (рис. 2, а, $E_{in} = 1-10 \mu\text{J}$). Для композитного материала характерно существенное уменьшение динамического диапазона ограничения по сравнению с полупроводниковыми монокристаллами [3] — в 50–100 раз, что связано с меньшей концентрацией активных центров.

Таким образом, в композитном материале с наночастицами полупроводника, содержащего глубокие примесные уровни, может быть получен высокий линейный коэффициент пропускания в видимом и ближнем ИК-диапазонах и порог возникновения нелинейно-оптического отклика на уровне единиц-десятков пикоджоулей. Такие материалы могут быть использованы при создании низкопороговых оптических переключателей и ограничителей излучения.

Список литературы

- [1] Boggess T.F., Moss S.C., Boyd J.W. et al. // Opt. Lett. 1984. V. 9. N 7. P. 291–293.
- [2] Van Stryland E.W., Wu Y.Y., Hagan D.J. et al. // J. Opt. Soc. Am. B. 1988. V. 5. N 9. P. 1980–1988.
- [3] Багров И.В., Жевлаков А.П., Сидоров А.И. и др. // Оптический журн. 2002. Т. 69. № 2. С. 15–20.
- [4] Сидоров А.И. // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. В. 7. С. 77–80.