

07

## Особенности оптического ограничения импульсно-периодического лазерного излучения в примесном GaAs и ZnSe

© О.П. Михеева, А.И. Сидоров, А.С. Хайкина, Е.В. Чугуевец

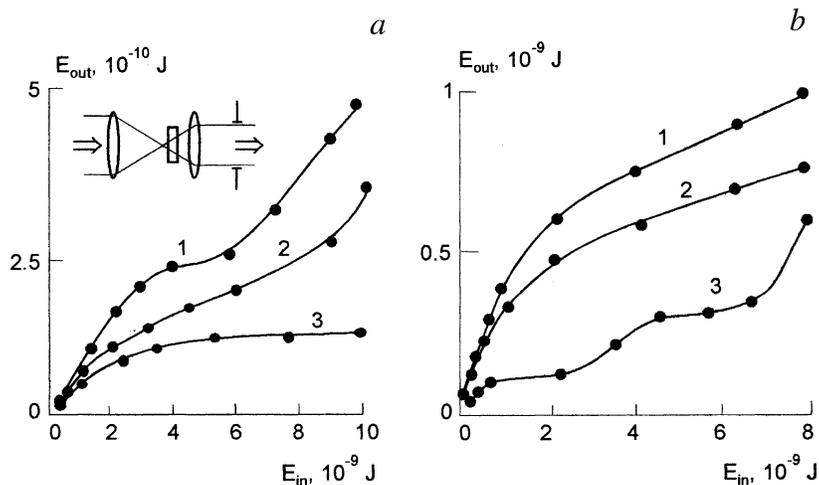
Институт лазерной физики, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 7 августа 2001 г.

Представлены экспериментальные результаты по ограничению излучения с длиной волны  $1.55 \mu\text{m}$  в арсениде галлия и селениде цинка с глубокими примесными уровнями при частоте повторения лазерных импульсов до 100 kHz. Показано, что с увеличением частоты происходят снижение энергетического порога ограничения излучения и увеличение коэффициента ослабления излучения. Причиной данных эффектов является накопление неравновесных носителей заряда, вызванное зависимостью постоянной времени примесной рекомбинации от концентрации свободных примесных центров.

Эффект самодефокусировки излучения в полупроводниках при двухфотонном [1–3] и однофотонном примесном [4] поглощении представляет интерес для создания ограничителей лазерного излучения, предназначенных для защиты фотоприемных устройств от перегрузки и разрушения излучением. Использование в таких ограничителях поглощения на глубоких примесных уровнях позволяет значительно снизить энергетический порог ограничения излучения по сравнению с ограничителями на основе двухфотонного поглощения. В данной работе рассмотрено влияние частоты повторения лазерных импульсов на основные характеристики ограничителя на основе примесных полупроводников — энергетический порог ограничения и коэффициент ослабления излучения в режиме ограничения.

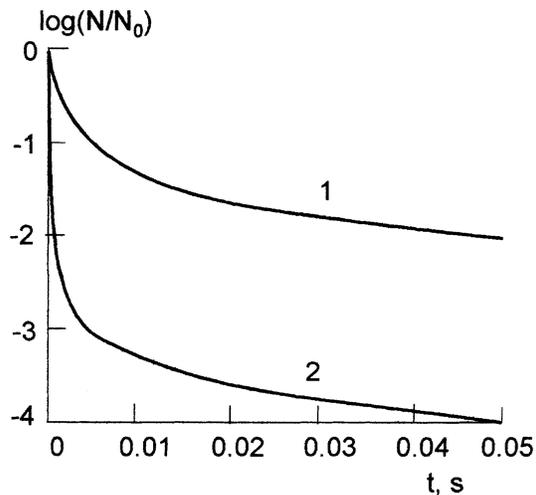
В экспериментах использовались образцы компенсированного GaAs толщиной 5 mm с удельным сопротивлением  $1 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$  и образцы ZnSe толщиной 7 mm, содержащие примесь кислорода. Ограничитель (см. вставку на рис. 1) состоял из двух софокусных линз с  $F = 8.5$  и  $1.5 \text{ cm}$  соответственно и диафрагмы, расположенной на расстоянии 7 cm от второй линзы и пропускающей 95% излучения при отсутствии в огра-



**Рис. 1.** Зависимость ограничения излучения в GaAs (а) и ZnSe (b) от энергии импульса излучения на входе ограничителя. На вставке — оптическая схема ограничителя. 1 —  $f = 0$ , 2 — 20 kHz, 3 — 100 kHz.

нители полупроводниковой пластины. Полупроводниковая пластина помещалась на расстоянии 1.5 mm от общей фокальной плоскости линз. Источником излучения служил импульсно-периодический одномодовый ( $TEM_{00}$ ) эрбиевый лазер с длиной волны генерации  $1.55 \mu\text{m}$  и длительностью импульса генерации 5.5 ns. Диаметр лазерного пучка на входе ограничителя был равен 7 mm.

На рис. 1 показаны начальные участки зависимостей энергии импульса излучения на выходе ограничителя от энергии импульса излучения на его входе для GaAs (а) и ZnSe (b) в моноимпульсном ( $f = 0$ ) и импульсно-периодическом режиме при  $f = 20$  и 100 kHz. Из рисунка видно, что при переходе от моноимпульсного к импульсно-периодическому режиму воздействия и при увеличении частоты следования лазерных импульсов происходит уменьшение энергетического порога ограничения излучения и увеличение коэффициента ослабления излучения в области ограничения. Так, для GaAs при  $f = 0$  порог ограничения равен  $E_{thr} \approx 300$  pJ, а при  $f = 100$  kHz —  $E_{thr} \approx 120$  pJ. При этом коэффициент ослабления излучения для  $E_{in} = 5$  nJ возрастает



**Рис. 2.** Временная зависимость относительной концентрации неравновесных носителей заряда в области воздействия излучения после окончания импульса.  $1 - N_0 = 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ,  $2 - 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ .

примерно в два раза. Для ZnSe при аналогичных условиях  $E_{thr}$  уменьшается от 1 нДж до  $\sim 500$  пДж, а коэффициент ослабления возрастает примерно в три раза.

Причиной данного эффекта является зависимость постоянной времени примесной рекомбинации  $\tau$  от концентрации свободных примесных центров —  $\tau = (VSN^*)^{-1}$  (например, [5]). Здесь  $V$  — скорость неравновесных носителей,  $S$  — сечение рекомбинации на примеси,  $N^*$  — концентрация свободных примесных центров. В том случае, если в полупроводнике имеет место только примесное поглощение, величина  $N^*$  равна концентрации неравновесных носителей заряда —  $N^* = N$ . Тогда уравнение непрерывности в области воздействия после завершения импульса излучения, без учета диффузии носителей, можно представить в виде:

$$\frac{dN}{dt} + N^2 \cdot V \cdot S = 0.$$

Данное уравнение имеет следующее решение:

$$\frac{N(t)}{N_0} = (1 + N_0 \cdot V \cdot S \cdot t)^{-1}.$$

Здесь  $N_0$  — концентрация неравновесных носителей сразу после завершения лазерного воздействия.

На рис. 2 показаны временные зависимости относительной концентрации неравновесных носителей в GaAs после завершения лазерного воздействия для  $N_0 = 10^{12} \text{ см}^{-3}$  и  $N_0 = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . Из рисунка видно, что на начальном участке зависимости имеют резкий спад, за которым, на протяжении значительного временного интервала, следует пологий участок. Благодаря этому, для импульсно-периодического излучения, в области воздействия, от импульса к импульсу, происходит накопление неравновесных носителей заряда. В результате для  $f > 0$  образование динамической отрицательной линзы, связанной с градиентом концентрации неравновесных носителей и приводящей к дефокусировке излучения, происходит при меньших энергиях импульса излучения, чем в случае моноимпульсного воздействия. Это проявляется в уменьшении энергетического порога ограничения. Для  $E > E_{thr}$  накопление носителей заряда при  $f > 0$  приводит к увеличению градиента концентрации носителей в области воздействия по сравнению с моноимпульсным режимом, результатом чего является увеличение дефокусировки излучения и увеличение коэффициента ослабления.

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

## Список литературы

- [1] *Bogges T.F., Smirl A.I., Moss S. et al. // IEEE J. of Quant. Electr. 1985. V. QE-21. N 5. P. 488.*
- [2] *Hogan D.J., Van Stryland E.W., Soileau M.J. et al. // J. Opt. Soc. Am. A. 1986. V. 3. N 13. P. 105.*
- [3] *Van Stryland, Wu Y.Y., Hagan D.J. et al. // J. Opt. Soc. Am. B. 1988. V. 5. N 9. P. 1980.*
- [4] *Багров И.В., Жевлаков А.П., Сидоров А.И. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 10. С. 26.*
- [5] *Вавилов В.С. Действие излучений на полупроводники. М.: Физматгиз, 1963. 264 с.*