

07

## Ограничение излучения с длиной волны $1.06 \mu\text{m}$ в компенсированном арсениде галлия

© А.Г. Калининцев, О.П. Михеева, А.И. Сидоров

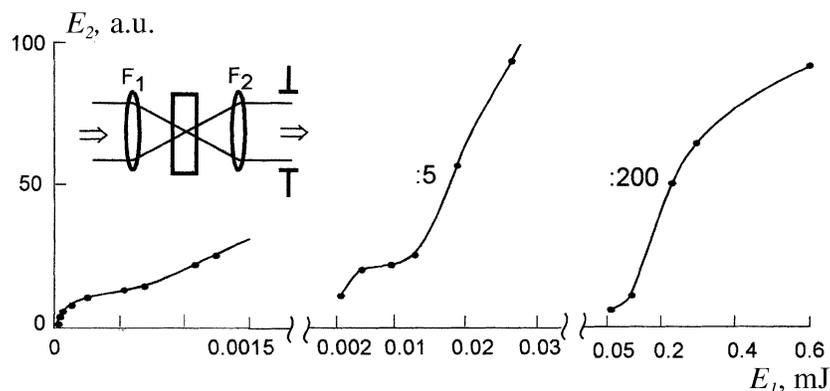
Институт лазерной физики, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 18 июня 2001 г.

Представлены результаты экспериментов по ограничению излучения YAG:Nd лазера ( $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ ) при самодефокусировке в условиях примесного поглощения в компенсированном GaAs. Показана возможность получения низкопорогового ограничения излучения с энергетическим порогом ограничения менее 10 pJ при длительности импульса излучения 10 ns.

Ограничение излучения в полупроводниках при самодефокусировке в условиях двухфотонного поглощения подробно описано в работах [1–3]. В этих работах показано, что в пикосекундном диапазоне длительности импульса излучения энергетический порог ограничения излучения может составлять 10–100 nJ. При увеличении длительности импульса излучения происходит увеличение порога ограничения, что связано с уменьшением скорости накопления неравновесных носителей заряда в области воздействия излучения из-за их диффузии и рекомбинации. В данной работе показано, что эффект самодефокусировки в условиях примесного однофотонного поглощения в полупроводниках позволяет получить низкопороговое ограничение излучения наносекундного диапазона с энергетическим порогом ограничения менее 10 pJ.

В экспериментах исследовались следующие полупроводниковые образцы: компенсированный GaAs ( $E_g = 1.45 \text{ eV}$ ) с удельным сопротивлением  $\rho = 20 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ , концентрацией компенсирующей примеси  $N \approx 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  без антиотражающих покрытий толщиной  $d = 2.2 \text{ mm}$  и компенсированный GaAs с  $\rho = 1 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ ,  $N \approx 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , с антиотражающими покрытиями и  $d = 5 \text{ mm}$ . Особенностью компенсированного GaAs является наличие глубоких примесных уровней в запрещенной



**Рис. 1.** Зависимость энергии излучения на выходе ограничителя от энергии излучения на его входе. На вставке — оптическая схема ограничителя.  $F_1 = F_2 = 10$  cm,  $L = 40$  cm,  $\rho = 20$  M $\Omega \cdot$  cm.

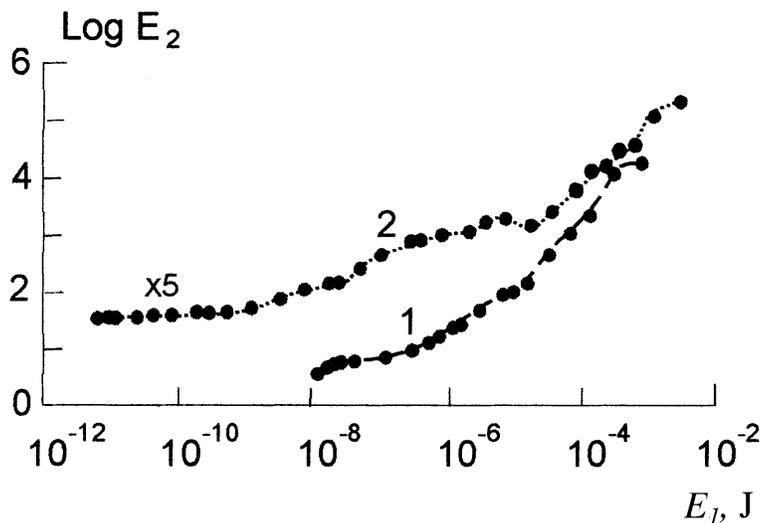
зоне, которые являются ловушками для носителей заряда. Энергия ионизации такой примеси составляет  $\Delta E = 0.6-0.7$  eV [4]. Источником излучения служил одномодовый YAG:Nd лазер ( $\lambda = 1.06$   $\mu$ m) с длительностью импульса генерации по основанию — 10 ns, пространственным распределением излучения, близким к гауссовому, и диаметром пучка по полувысоте — 6 mm. Оптическая схема ограничителя состояла из двух линз, в общей фокальной плоскости которых помещалась пластина полупроводника, и диафрагмы (рис. 1).

На рис. 1 показана зависимость энергии излучения на выходе ограничителя от энергии излучения на его входе для следующих параметров оптической схемы: фокусные расстояния линз —  $F_1 = F_2 = 10$  cm, расстояние от второй линзы до диафрагмы  $L = 40$  cm, диаметр диафрагмы — 6 mm, полупроводник — GaAs с  $\rho = 20$  M $\Omega \cdot$  cm. Из рисунка видно, что на зависимости  $E_2(E_1)$  имеются три характерные области ограничения: область низкогопорогового ограничения с  $E_3 \approx 40$  nJ, промежуточная область ограничения с  $E_3 \approx 5$   $\mu$ J и область ограничения с  $E_3 \approx 300$   $\mu$ J.

Причиной возникновения низкогопорогового ограничения является генерация неравновесных носителей заряда с глубоких примесных

уровней в полупроводнике. Рост концентрации носителей в области воздействия излучения приводит к образованию отрицательной динамической линзы, вызывающей дефокусировку излучения. Данный процесс является однофотонным, что обуславливает низкий энергетический порог ограничения. При  $E_1 > 700 \text{ нДж}$  зависимость  $E_2(E_1)$  становится близкой к линейной, что связано с насыщением примесного поглощения. Промежуточная область ограничения с  $E_3 \approx 5 \text{ мДж}$  связана с генерацией неравновесных носителей заряда при двухфотонном межзонном поглощении. Эффект ограничения, связанный с данным процессом, подробно описан в работах [1–3] для пикосекундного диапазона длительности импульса излучения. При  $E_1 > 15 \text{ мДж}$  эффективность двухфотонного ограничения начинает уменьшаться из-за компенсирующего влияния положительной тепловой линзы. Третья область ограничения с  $E_3 \approx 300 \text{ мДж}$  связана с тремя процессами — с эффектом самофокусировки излучения на положительной тепловой линзе (это возможно благодаря тому, что  $F_2 < L$ ), непосредственно с двухфотонным поглощением и поглощением на неравновесных носителях заряда. Полностью зависимость  $E_2(E_1)$  в логарифмическом масштабе показана на рис. 2 (кривая 1).

Образец GaAs с  $\rho = 1 \text{ М}\Omega \cdot \text{см}$  исследовался в ограничителе с  $F_1 = 6 \text{ мм}$ ,  $F_2 = 4 \text{ мм}$  и  $L = 5 \text{ см}$ . Кривая ограничения для этого образца показана на рис. 2. Из рисунка видно, что низкопороговая область ограничения лежит в диапазоне от  $5 \text{ рДж}$  до  $\sim 1 \text{ нДж}$ . Энергетический порог ограничения для данной области определен не был из-за недостаточной чувствительности фотоприемного устройства. Область ограничения, связанного с двухфотонным поглощением, лежит в диапазоне  $E_1$  от  $\sim 3$  до  $50 \text{ нДж}$ . При увеличении энергии на входе ограничителя в  $10^4$  раз — от  $5 \text{ рДж}$  до  $50 \text{ нДж}$ , энергия на выходе ограничителя возрастает в 30 раз. При  $E_1 > 100 \text{ нДж}$  на зависимости  $E_2(E_1)$  для GaAs в данной оптической схеме наблюдается еще четыре области ограничения. Одной из возможных причин возникновения этих особенностей является сложная динамика толстой линзы в зоне воздействия излучения, так как при высокой интенсивности излучения линза состоит из областей самофокусировки, связанной с одно- и двухфотонным поглощением, и области самодефокусировки, связанной с тепловыми эффектами. Вклад в возникновение этих особенностей могут также вносить двухступенчатые процессы генерации неравновесных носителей из валентной зоны в зону



**Рис. 2.** Зависимость энергии излучения на выходе ограничителя от энергии излучения на его входе.  $F_1 = 6$  mm,  $F_2 = 4$  mm,  $L = 5$  cm. 1 —  $\rho = 20$  M $\Omega$  · cm,  $d = 2.2$  mm, 2 —  $\rho = 1$  M $\Omega$  · cm,  $d = 5$  mm.

проводимости через свободные примесные уровни. Наличие свободных примесных уровней обусловлено высокой интенсивностью излучения в зоне воздействия.

Таким образом, показано, что эффект дефокусировки излучения в условиях примесного поглощения в полупроводнике позволяет значительно снизить энергетический порог ограничения излучения по сравнению с ограничением, вызванным двухфотонным поглощением. Данный эффект может быть использован как для управления амплитудой лазерных импульсов, так и для защиты фотоприемных устройств от перегрузки.

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

## Список литературы

- [1] *Boggess T.E., Moss S.C., Boyd I.W.* et al. // Optics Letters. 1984. V. 9. N 7. P. 291.
- [2] *Hermann J.A.* // Opt. Soc. Am. B. 1984. V. 1. N 5. P. 729.
- [3] *Van Stryland E.W., Wu Y.Y., Hagan D.J.* et al. // J. Opt. Soc. Am. B. 1988. V. 5. N 9. P. 1980.
- [4] *Арсенид галлия. Получение и свойства* / Под ред Ф.П. Кесаманлы, Д.Н. На-следова. М.: Наука, 1973. 471 с.