

©1995 г.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СКОПЛЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ФОСФИДА ИНДИЯ И АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

В.А.Юрьев, В.П.Калинушкин, О.В.Астафьев

Институт общей физики Российской академии наук,
117942, Москва, Россия

(Получена 26 июля 1994 г. Принята к печати 2 августа 1994 г.)

Методом сканирующего малоуглового рассеяния света среднего диапазона визуализированы крупномасштабные скопления электрически активных дефектов в InP и GaAs. Установлено, что значения их концентраций в этих материалах близки к оценкам, принятым в более ранних работах.

В цикле работ, опубликованных в течение последних десяти лет, сообщалось об обнаружении и исследовании методом малоуглового рассеяния света среднего ИК диапазона (МУРС) ^[1,2] крупномасштабных скоплений электрически активных дефектов (КЭД) в монокристаллах фосфида индия и арсенида галлия. Результаты этих работ обобщены в статьях ^[3-5]. Тем не менее до настоящего времени не удалось визуализировать КЭД и получить достаточно надежные оценки их концентрации, необходимые для определения значений концентрации свободных носителей тока в объеме КЭД и энергий термической активации образующих их точечных центров.

Для решения задачи визуализации КЭД в полупроводниковых материалах авторами настоящей статьи была предложена методика сканирующего МУРС ^[6], основывающаяся на методах лазерной темнопольной микроскопии (принципиальная оптическая схема описанного в работе ^[6] сканирующего лазерного темнопольного микроскопа приведена на рис. 1). В предлагаемой вниманию читателей работе методом сканирующего МУРС ($\lambda = 10.6$ мкм) визуализированы КЭД в фосфиде индия и арсениде галлия и измерены значения их концентраций в этих материалах.

Исследованные в работе образцы были аналогичны кристаллам, исследованным в ^[3-5].

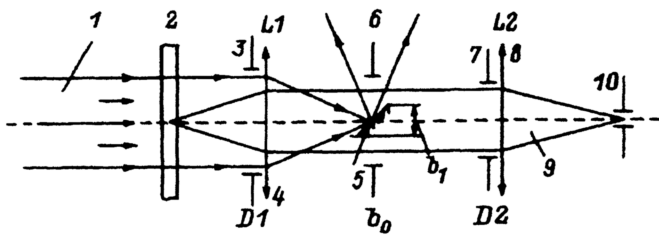
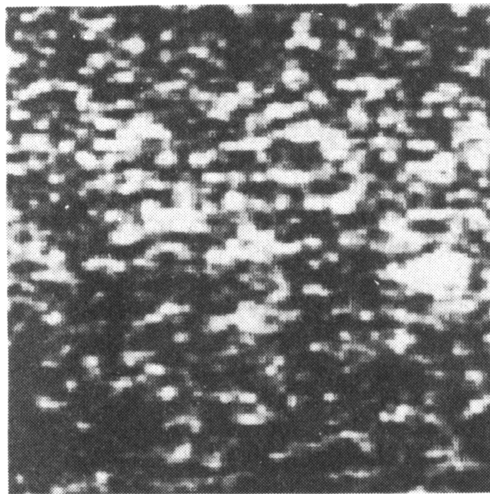
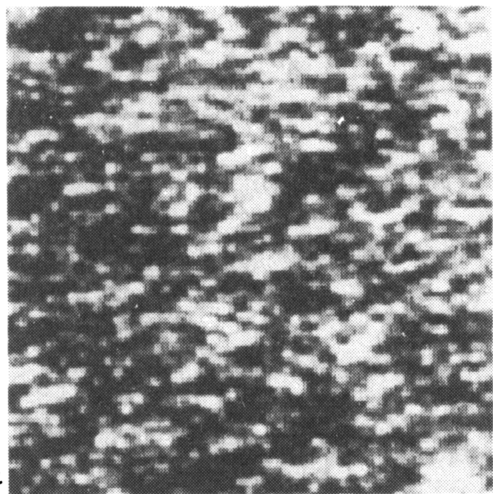


Рис. 1. Наглядная схема инфракрасного сканирующего лазерного темнопольного микроскопа, использованного для визуализации крупномасштабных скоплений электрически активных дефектов. 1 — зондирующая плоская волна; 2 — исследуемый образец; 3 — диафрагма $D1$, задающая апертуру линзы $L1$; 4 — линза $L1$; 5 — темное поле диаметром b_1 , установленное в фокусе линзы $L1$; 6 — диафрагма в плоскости темного поля диаметром b_0 ; 7 — диафрагма $D2$, задающая апертуру линзы $L2$; 8 — линза $L2$; 9 — волна, рассеянная дефектом в образце; 10 — приемник ИК излучения.



a



b

Рис. 2. Изображения монокристаллов InP (a) и InP:Fe (b), полученные методом сканирующего МУРС; $2 \times 2 \text{ мм}^2$.

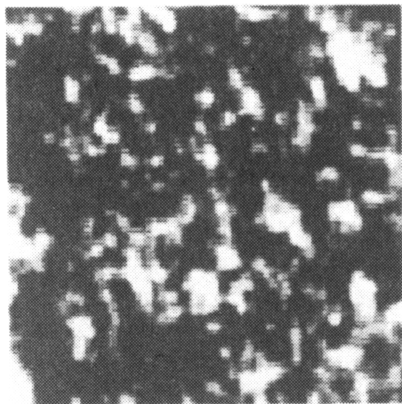


Рис. 3. Микрофотография монокристалла GaAs , полученная методом сканирующего МУРС; $1.5 \times 1.5 \text{ мм}^2$.

Монокристаллы фосфида индия были выращены методом Чохральского с жидкостной герметизацией расплава. Концентрация электронов в образцах нелегированного фосфида индия (InP) составляла $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, удельное сопротивление образцов фосфида индия, легированного железом (InP:Fe) — 10^7 – $10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, подвижность носителей — $4 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. (Здесь и далее даны значения величин при комнатной температуре). Плотность дислокаций в образцах была около $5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$. Полированные плоскопараллельные пластины InP и InP:Fe были вырезаны из монокристаллических слитков вдоль кристаллографической плоскости (100). Толщина пластин InP составляла 0.6 мм, а пластин InP:Fe — 0.5 мм.

Монокристаллы нелегированного полуизолирующего арсенида галлия (GaAs) были выращены методом Чохральского с жидкостной герметизацией расплава в тигле из пиролитического нитрида бора в направлении (100). Непосредственно после выращивания монокристаллический слиток GaAs отжигался в вакууме при температуре 900°C в кварцевой ампуле. Пластины GaAs диаметром 76 мм вырезались из слитка перпендикулярно направлению роста и подвергались процедуре промышленной полировки на фирме-изготовителе (Solid State Physics Lab.). Толщина пластин составляла $625 \pm 25 \text{ мкм}$. Удельное сопротивление материала превосходило $10^7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, подвижность носителей тока превышала $4 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, плотность дислокаций в материале была менее 10^5 см^{-2} .

На рис. 2 приведены микрофотографии образцов InP (a) и InP:Fe (b) (площадь $2 \times 2 \text{ мм}^2$), полученные методом сканирующего МУРС, а на рис. 3 представлена микрофотография монокристалла GaAs ($1.5 \times 1.5 \text{ мм}^2$). Белые пятна на фотографиях — изображения КЭД. Видно, что форма КЭД, насколько об этом позволяет судить разрешающая способность лазерного микроскопа, близка к сферической (ранее это было установлено в ориентационных экспериментах [3 – 5]). Концентрация КЭД в InP — $(4.5$ – $5) \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$, в InP:Fe — $(4$ – $4.5) \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$, в GaAs — $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$. Приведенные значения концентраций очень близки к величинам, принятым в [3 – 5], что подтверждает правильность оценок концентраций свободных носителей тока в КЭД и энергий активации образующих их центров, выполненных в [3 – 5].

Список литературы

- [1] В.П. Калинушкин. Тр. ИОФАН (М.); **4**, 3 (1986). [Engl. transl.: Proc. Inst. Gen. Phys. Acad. Sci. USSR, **4**, *Laser Methods of Defect Investigations in Semiconductors and Dielectrics*, 1. N.Y., Nova (1988)].
- [2] V.V. Voronkov, S.E. Zabolotskiy, V.P. Kalinushkin, D.I. Murin, M.G. Ploppa, V.A. Yuryev. *J. Cryst. Growth*, **103**, 126 (1990).
- [3] V.P. Kalinushkin, V.A. Yuryev, D.I. Murin, M.G. Ploppa. *Semicond. Sci. Technol.*, **7**, A255 (1992).
- [4] В.П. Калинушкин, В.А. Юрьев, Д.И. Мушин. *ФТП*, **25**, 798 (1990).
- [5] В.А. Юрьев, В.П. Калинушкин, Д.И. Мушин. *ФТП*, **28**, 640 (1994).
- [6] O.V. Astafiev, V.P. Kalinushkin, V.A. Yuryev. *Proc. Int. Conf. on Advanced Laser Technologies (ALT'93)*, Prague, November 7–9, 1993, in the press.

Visualization of large-scale electrically active defect clusters in indium phosphide and gallium arsenide single crystals

V.A.Yuryev, V.P.Kalinushkin, O.V.Astafiev

Institute of General Physics, Russian Academy of Sciences, 117942 Moscow
