

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСЯМИ

О. К. Гусев, Л. И. Шадурская, И. В. Яржембицкая

Белорусский национальный технический университет, minskhome@tut.by

Фотоэлектрические полупроводниковые преобразователи (ФЭПП) на основе полупроводников с глубокими примесями используются для создания охлаждаемых матричных ИК-приборов и систем обнаружения в диапазонах от 1,5 до 5 мкм и от 8 до 12 мкм [1], для волоконно-оптических линий связи [2].

Метрологические характеристики ФЭПП на основе полупроводников с глубокими примесями, в том числе и динамический диапазон, определяются в основном характером рекомбинационных процессов с участием глубоких дефектов.

Целью данной работы является анализ зависимости динамического диапазона ФЭПП на основе полупроводников с глубокими примесями от вида (характера) и концентрации глубокой примеси N , а также разработка методов управления динамическим диапазоном таких фотоприемников.

Проведенные исследования показывают, что при работе ФЭПП на основе полупроводников с глубокими примесями наблюдаются два диапазона линейности энергетической характеристики. Первый диапазон соответствует линейной рекомбинации при низких плотностях мощности оптического излучения P , меньших некоторого порогового значения P_n , а второй диапазон линейности энергетической характеристики наблюдается при высоких плотностях мощности оптического излучения больших P_p [3].

На рис. 1 представлена энергетическая характеристика ФЭПП на основе германия n -типа, легированного медью, обладающего следующими значениями параметров: равновесная концентрация свободных электронов $n_0 = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, концентрация дефектов $N = 10^{13} \text{ см}^{-3}$, энергия ионизации уровня примеси $E = E_c - 0,26 \text{ эВ}$, где E_c - энергия края зоны проводимости, длина волны собственного поглощения $\lambda = 1,7 \text{ мкм}$, коэффициент поглощения $\alpha = 10^5 \text{ см}^{-1}$, $T = 100 \text{ К}$, коэффициенты захвата электронов и дырок на центр соответственно $\gamma_n = 4,1 \cdot 10^{13} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, $\gamma_p = 1,44 \cdot 10^9 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. Сплошной кривой показана расчетная зависимость $i_\Phi = f(P)$ согласно модели [4].

Значения P_n и P_p определяются следующими соотношениями:

$$P_n = \frac{\Delta n_n}{\hbar c \cdot \lambda \cdot \beta \cdot \tau(\Delta n_n) \alpha}, \quad \Delta n_n = \frac{\pm 0,5((1-A)Nf_0(1 \pm 0,5) + n_0 + (1-A)p_1)}{1 - (1 \pm 0,5)Af_0}; \quad (1)$$

$$P_p = \frac{\Delta n_p}{\hbar c \cdot \lambda \cdot \beta \cdot \tau(\Delta n_p) \cdot \alpha}; \quad (2)$$

$$\Delta n_n = \frac{1}{(1+0,5)} \left(n_0 + p_1 \frac{(1-A)}{A} \right) - (1-A) \left(A(1 \pm 0,5)N - p_0 - Nf_0 + p_1 + \frac{A}{1-A} (n_0 + n_1) \right).$$

где $A = 1 + \frac{\gamma_p}{\gamma_n}$, Δn – неравновесная

концентрация электронов в зоне проводимости, p_1, n_1 – приведенная плотность состояний для дырок (электронов) в валентной зоне (зоне проводимости), f_0 – равновесная функция Ферми – Дирака, β – квантовый выход внутреннего фотоэффекта, \hbar – постоянная Планка, c – скорость света.

Согласно действующему ГОСТ 17772-88 [5] в работе ФЭПП на основе полупроводников с глубокими примесями предусмотрен только один динамический диапазон при невысоких плотностях мощности оптического излучения. Измерение динамического диапазона осуществляется экспериментально по значению критической мощности оптического излучения, соответствующей 20 % отклонению от линейного закона зависимости $i_\phi = f(P)$. Рис. 2 иллюстрирует определение динамического диапазона.

Определение первого динамического диапазона D (в относительных единицах) проводилось согласно ГОСТ 17772-88 по формуле

$$D = \frac{P_{кр}}{P_n}$$

где $P_{кр}$ – значение критической мощности оптического излучения, соответствующей 20-процентному отклонению от линейного закона зависимости $i_\phi = f(P)$, P_n – порог чувствительности в заданной полосе частот.

Таким образом, существование второго динамического диапазона ФЭПП на основе полупроводников с глубокими примесями при $P > P_n$ не учитывается ГОСТ 17772-88, и следовательно, практически не используется, а первый динамический диапазон при $P < P_n$ определяется экспериментально (согласно ГОСТ 17772-88).

I_ϕ , мкА

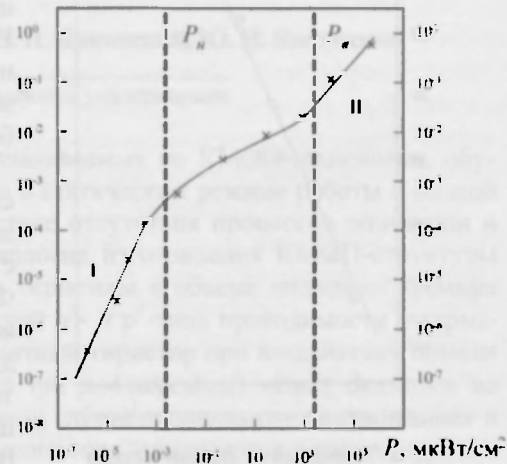
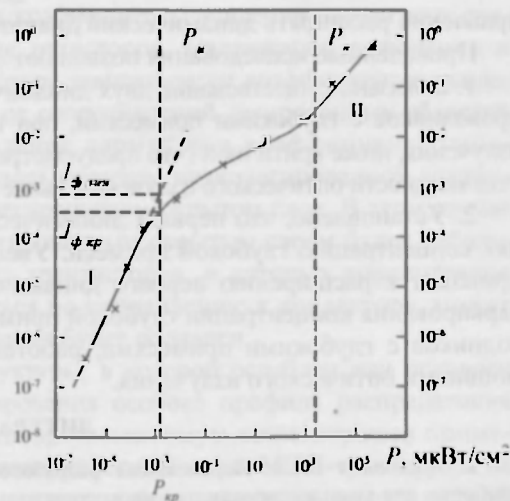


Рис. 1. Экспериментальная и расчетная энергетическая характеристика ФЭПП на основе германия *n*-типа, легированного медью

I_ϕ , мкА



$$\frac{I_{\phi \text{лин}} - I_{\phi \text{кр}}}{I_{\phi \text{лин}}} = 0.2$$

Рис. 2. Определение динамического диапазона ФЭПП на основе германия *n*-типа, легированного медью

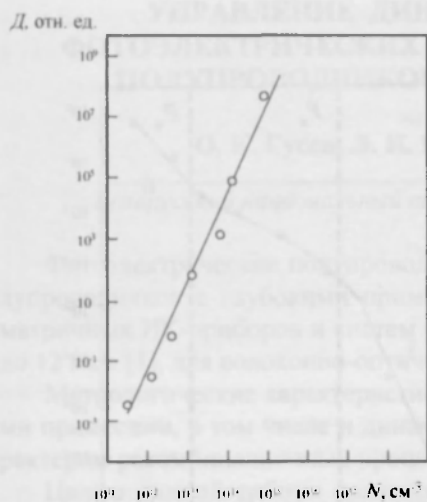


Рис. 3. Зависимость динамического диапазона D от концентрации акцепторной примеси N для ФЭПП на основе германия n -типа, легированного медью, при $T = 100$ К

В работе исследовались ФЭПП на основе германия, легированного медью, концентрация глубокой примеси варьировалась. На рис. 3 представлены экспериментальные и расчетные зависимости первого D динамического диапазона от концентрации глубокой примеси.

Приведенные экспериментальные зависимости хорошо коррелируют с соотношениями, определяющими границы линейности энергетических характеристик таких ФЭПП [3]. Данный рисунок характеризует возможность управления динамическим диапазоном ФЭПП с глубокими примесями за счет целенаправленного изменения концентрации глубокой акцепторной примеси. Видно, что критическое значение мощности оптического излучения в случае примесей акцепторной природы определяется концентрацией глубокой примеси N . Следовательно, увеличивая N , можно целена-

правленно расширять динамический диапазон таких ФЭПП.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Показано существование двух динамических диапазонов ФЭПП на основе полупроводников с глубокими примесями, при низких плотностях мощности оптического излучения, ниже критичной (что предусмотрено ГОСТ 17772-88) и при высоких плотностях мощности оптического излучения, выше некоторого порогового значения.

2. Установлено, что первым динамическим диапазоном можно управлять, изменяя концентрацию глубокой примеси. Увеличение концентрации глубокой примеси приводит к расширению первого динамического диапазона. Это позволит за счет варьирования концентрации глубокой примеси создавать ФЭПП на основе полупроводников с глубокими примесями, работающие в заданном диапазоне плотностей мощности оптического излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнов В. А. Перспективы разработок монолитных охлаждаемых матричных ИК-приборов для комплексированных многоспектральных систем обнаружения в диапазонах 1.5–5 и 8–12 мкм / В. А. Арутюнов, И. С. Васильев, В. Г. Иванов, А. Е. Прокофьев, Р. М. Степанов // Прикладная физика. 2005. Вып. 5. С. 84–91.
2. Levine D. F. 1 Gb/s Si high quantum efficiency monolithically integrable $\lambda = 0.88 \mu\text{m}$ detector / D. F. Levine, J. D. Wynn, F. P. Klemens, Sarusi G. // Appl. Phys. Lett. 1995. Vol. 66(22). P. 2984–2986.
3. Гусев О. К. Моделирование метрологических характеристик фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с глубокими примесями / О. К. Гусев, Л. И. Шадурская, Н. В. Яржембицкая // Метрология и приборостроение. № 2(41). Минск: БелГИМ, 2008. С. 22–25.
4. Шадурская Л. И. Методика расчета времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках с несколькими типами дефектов / Л. И. Шадурская, Н. В. Яржембицкая // Теоретическая и прикладная механика: межвед. сб. науч. статей. Минск, 2005. Вып. 18. С. 217–223.
5. ГОСТ 17772-88. Приемники излучения полупроводниковые. Фотоэлектрические и фотопринимные устройства.