О возможности регулирования фотоэлектрического отклика полупроводников специальным пространственным профилированием потока излучения

В.А. Холоднов^{1,2}

¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Москва, 125009, Моховая ул., д. 11, кор. 7, факс: +7 (495) 629 3678;

² ОАО «НПО «Орион». Россия, 111123, Москва, ул. Косинская, д.9 факс: +7 499 373 6862;
тел: +7(916) 189-1128, эл. почта: vkholodnov@mail.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-58

В работах [1, 2] теоретически показано, что неоднородность плотности скорости фотогенерации (СФ) носителей $g(x)$ вдоль напряженности темнового электрического поля $\vec{E}_0$ (ось x) может радикально влиять на фототок I_{ph} . К каким возможностям вообще может приводить неоднородность $g(x)$ проанализировано в данной работе. Рассмотрен полупроводник вне приближения квазинейтральности (ПKN) при межзонной фотогенерации носителей, рекомбинацией через одиночный примесный уровень и слабом излучении. Теоретически показано, что при определенных профилях $g(x)$ могут проявиться три неизвестных фотоэлектрических эффектов. Это самоусиление, самогашение и самоинверсия знака $g(x)$. Рассчитаны общие формы соответствующих профилей. Эффекты обусловлены локальным фотовозбужденным объемным зарядом плотностью ρ_{ph} . Показано, что формы профилей зависят от параметров полупроводника, $\vec{E}_0$ и температуры. Решение основано на уравнении [1, 3]

$$Q \cdot \partial^4 n_{ph} / \partial x^4 - D \cdot \partial^2 n_{ph} / \partial x^2 + \mu E_0 \cdot \partial n_{ph} / \partial x + n_{ph} / \tau_n = g_{ef}(x), \quad (1)$$

где Q , D и μ зависят от ρ_{ph} , величина которого характеризуется неким безразмерным параметром ξ (в ПKN $\xi = 0$); $n_{ph}(x)$ - концентрация фотоэлектронов, τ_n - их время жизни в ПKN;

$$g_{ef}(x) = g(x) + B_{ef}(\partial g / \partial x) - A_{ef}(\partial^2 g / \partial x^2), \quad (2)$$

$A_{ef} = \xi D_p \tau_p$, $B_{ef} = \xi \tau_p \mu_p E_0$, τ_p - время жизни дырок в ПKN, D_p и μ_p - их коэффициент диффузии и подвижность. Из (2) видно, что при $g(x) \neq const$, в отличие от ПKN, $g_{ef}(x) \neq g(x)$. Поэтому назовем $g_{ef}(x)$ эффективной плотностью СФ. Левая часть (1) ответственна за диффузионно-дрейфовый коэффициент фотоэлектрического преобразования (ДДКФЭП) [1,3] $G_0 = I_{ph} / (qg_{ef}^{tot})$ полной эффективной СФ носителей в образце g_{ef}^{tot} в I_{ph} ; q - абсолютная величина заряда электрона. Для выяснения возможной степени влияния неоднородности $g(x)$ на ДДКФЭП $G = I_{ph} / (qg^{tot})$ полной истинной СФ носителей в образце g^{tot} в соответствии с уравнением (1) и выражением (2) рассмотрим уравнение $g_{ef}(x) = (1 + \zeta) \cdot g(x)$, где ζ - некоторый рациональный безразмерный параметр. Тем самым, $1 + \zeta = G / G_0 \equiv \eta$, где G_0 - ДДКФЭП в ПKN, либо при $g(x) = const$. Искомое решение имеет вид $g(x) = C_1 \exp(a_1 x) + C_2 \exp(a_2 x)$. Параметр ζ не связан с ДДКФЭП G_0 . Поэтому ζ определяет следующие возможные типы профилей $g(x)$.

1. Самоусиливающий: $\eta \Rightarrow 1$, если $\zeta > 0$. Сопротивление образца R уменьшается больше, чем дает ПKN.
 2. Самоослабляющий: $0 < \eta < 1$, если $-1 < \zeta < 0$. Уменьшение R меньше, чем дает ПKN.
 3. Самогасящий: $g_{ef}(x) = 0$, если $\zeta = -1$. Излучение, хотя и генерирует носители, но не изменяет R .
 4. Самоинверсирующий: $\eta < 0$, если $\zeta < -1$, причем $|\eta|$ может превышать 1. Излучение, хотя и генерирует носители, но увеличивает R .
 5. Псевдонейтральный: $\eta = 1$, если $\zeta = 0$ (ПKN дает такой же результат).
- Итак, специальное пространственное профилирование потока излучения открывает возможность регулирования фотоэлектрического отклика полупроводников (от больше, чем дает ПKN, уменьшения до увеличения сопротивления образцов).

Литература

- [1] V.A. Kholodnov // J. of Communication Technology and Electronics. 2019. V.64, is.9. P.1038-1045.
- [2] V.A. Kholodnov, M.S. Nikitin // Electrica. 2021. V. 21, is.1, P. 168-172.
- [3] V. A. Kholodnov and M. S. Nikitin // In the book: Optoelectronics - materials and devices, Ed. S. L. Pyshkin and J. Ballato (InTech 2015. Ch. 12, P. 301-348, www.intechopen.com).