

О ПОДАВЛЕНИИ ОЖЕ-РЕКОМБИНАЦИИ В НЕОХЛАЖДАЕМЫХ ФОТОПРИЕМНИКАХ НА ОСНОВЕ $Cd_xHg_{1-x}Te$

Н.Д. ИСМАЙЛОВ

*Институт Физики НАН Азербайджана,
Az-1143, Баку, проспект Г. Джавида 131,
ismailovnamik@yahoo.com*

В работе представлен новый метод улучшения параметров фоточувствительности неохлаждаемых ИК-фоторезисторов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$. Он заключается в том, что в области поглощения, электрическое поле E , созданное градиентом концентрации акцепторов N_a , пространственным разделением увеличивает время жизни неравновесных носителей в 10^2 раз. На этом принципе реализован неохлаждаемый ИК-фотоприемник на область 3-5 μm с высокими параметрами чувствительности.

Ключевые слова: ИК-диапазон, неохлаждаемые фотоприемники, $Cd_xHg_{1-x}Te$, Оже-процесс термогенерации
PACS: 07.57, 85.60. Dw, 85.30

Для достижения высоких параметров фоточувствительности фотоприемников на основе узкозонных полупроводников, требуется их охлаждение до температур от 77 до 200 К. Необходимость охлаждения значительно увеличивает массу, габариты и стоимость всей аппаратуры. Поэтому одной из актуальных задач является разработка неохлаждаемых фотоприемников ИК-диапазона с высокими параметрами фоточувствительности. Основным фактором, ограничивающим параметры неохлаждаемых фотоприемников, является Оже-процесс термогенерации носителей заряда. Для подавления Оже-процесса в слое поглощения были предложены несколько концепций, такие как неравновесный режим экстракции и эксклюзии в фотодиодах [1,2] и метод оптимизации [3] параметров в фоторезисторах. Однако, большие токи смещения в этих структурах обуславливают высокий уровень шумов вплоть до 10 МГц [4].

В данной работе представлен новый подход для реализации высоких параметров фоточувствительности неохлаждаемых фоторезисторов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$. Он заключается в том, что в область поглощения введено электрическое поле E , путем создания неоднородного по толщине слоя распределения акцепторов N_a . Пространственное разделение неравновесных носителей электрическим полем увеличивает время жизни неравновесных носителей, которое, как приведено в [4], описывается формулой;

$$\tau_r = \tau_o \cdot \exp(\phi_r \cdot q/kT), \quad (1)$$

здесь τ_o – время рекомбинации в отсутствие пространственного разделения носителей, q -заряд электрона, k -постоянная Больцмана, T -температура. Рекомбинационный барьер ϕ_r , связанный с градиентом концентрации примеси $N_a(x)$, определяется по формуле:

$$\phi_r = kT/q \cdot \ln(p^+/p^-) \quad (2)$$

где p^+ и p^- - концентрация дырок на противоположных сторонах образца.

Для дальнейшей рекомбинации, разделенные неравновесные носители должны преодолеть рекомбинационный барьер ϕ_r .

Из (1) и (2) следует, что $\tau_r = \tau_o (p^+/p^-)$. При этом необходимо, чтобы время разделения носителей заряда t_{dr} было существенно меньше времени их жизни τ_o .

Величина t_{dr} определяется как отношение толщины образца d к амбиполярной дрейфовой скорости v_{dr} . Минимальная концентрация дырок в p^- слое ограничивается концентрацией собственных носителей заряда n_i при комнатной температуре.

В p^+ -области время жизни τ_o по Оже - механизму определяется выражением [3]:

$$\tau = 2\tau_{i1} Z^2 (\gamma + 1) / [\gamma (\gamma + Z^2) (1 + Z^2)] \quad (3)$$

где Z - отношение дырочной концентрации к собственной p_o/n_i в термическом равновесии, τ_{i1} - время $A1$ рекомбинации в собственном полупроводнике, γ -отношение времени рекомбинации $A7$ к $A1$. Значения τ_{i1} и γ определяются из теоретических расчетов [3].

Как следует из (3) τ_o уменьшается пропорционально Z^2 , следовательно, оптимальную концентрацию в p^+ -области можно определить, приравняв t_{dr} и τ_o .

В экспериментальных образцах концентрация акцепторов в p^- и p^+ -областях, полученных термодиффузией меди, имели значения $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, соответственно. Высота барьера при этом $\phi_r \approx 60$ мВ.

В работе [4] мы уже сообщали о наблюдении anomalно больших значений τ_r фотопроводимости p^+ - p^- структур из $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($0.24 \leq x \leq 0.29$) в интервале $T=77-150$ К. Наблюдаемые большие значения $\tau_r=10-40$ мс указывают на подавление всех типов рекомбинации внутренним электрическим полем. При комнатной температуре в этих структурах, также, благодаря подавлению Оже-

процессов рекомбинации, наблюдаются времена жизни, существенно превышающие теоретически расчетные в 10^2 раз, как это видно из приведенного рисунка. При комнатной температуре, концентрация

неравновесных носителей определяется термогенерацией, а не тепловым фооновым излучением, как при низких температурах.

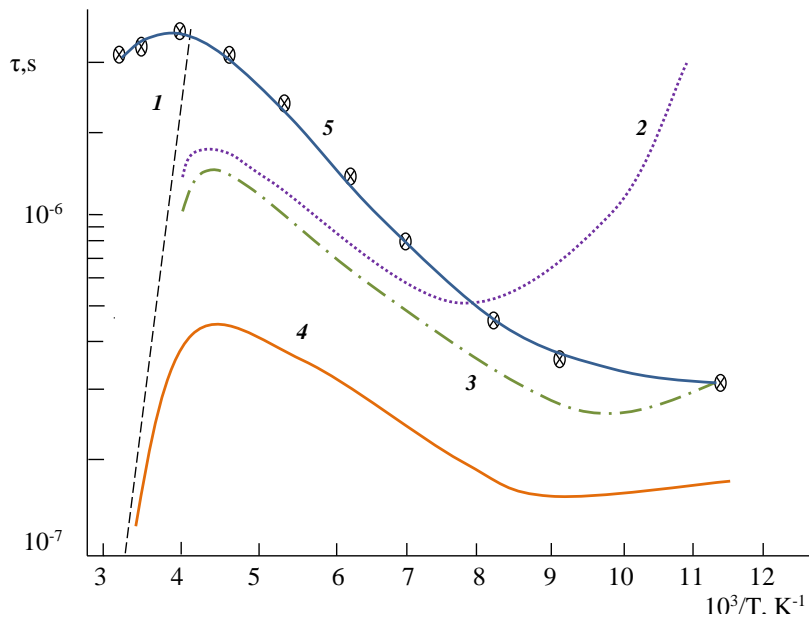


Рис. Температурная зависимость времени жизни в $p-Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0.27$, $p_0=3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$), расчетные кривые по механизмам рекомбинации: 1-Оже А1, 2- Оже А7, 3-излучательная, 4-расчетная зависимость с учетом Оже процессов, излучательной и примесной рекомбинаций, 5- экспериментальные значения.

При низких температурах, большая интенсивность фоновой засветки приводит к значительному понижению высоты потенциального барьера ϕ_r . В результате темп рекомбинации неравновесных носителей в обедненной области может превышать темп рекомбинации их на поверхности и в объеме [5]. Этим и объясняются малые значения τ при низких температурах.

На основе этих структур реализованы неохлаждаемые ИК- фотоприемники на область 3-5 мкм с высокими параметрами чувствительности. Основным параметром фотоприемников является удельная обнаружительная способность, которая для

однородно легированного слоя определяется формулой [3]:

$$D_\lambda^* = \lambda \eta \left[\left(\frac{1}{Z} + Z \right) \left(\frac{\tau}{n_i d} \right) \right]^{1/2} / (hc) \quad (11)$$

где η - квантовая эффективность, c - скорость света, h - постоянная планка.

Как видно из формулы, обнаружительная способность существенно растет за счет увеличения τ и Z .

[1] T. Ashley, C.T. Elliot and A.T.Harker. Non-equilibrium modes of operation for infrared detectors. *Infrared Phys.* Vol.26, No.5, pp.303-315, 1986

[2] T. Ashley, C.T. Elliot. Non-equilibrium devices for infrared detection. *Electron. Lett.*, 1985, 85, pp.451-452

[3] M. Kalafi, H. Tajalli, M.S. Akhondi, F. Kaziev. Realization of uncooled photoconductor based on $Cd_xHg_{1-x}Te$ operating in 2-6 μm spectral range. *Infr. Phys. & Technol.* 41(2000) 293-297

[4] N.J. Ismayilov, A.A. Rajabli, M.A. Musayev and I.I. Abbasov. Recombination and long-term relaxation of photoconductivity in p^+-p-p^- structures of $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($0.24 \leq x \leq 0.29$). *Low Temperature Physics/Fizika Nizkikh Temperatur*, 2018, v. 44, No. 8, pp. 1058–1061

[5] Н.Д. Исмаилов, Н.Х. Талипов, А.В. Войцеховский. Высокочувствительные двухслойные фоторезисторы на основе $p-Cd_xHg_{1-x}Te$ с конвертированным приповерхностным слоем. *Изв. вузов. Физика.* (2017), 123-127