

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И
ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.АУЭЗОВА

ФЕРГАНСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ ОБЩЕСТВЕННОГО
ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научной конференции

**“ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ
СРЕД”**

Фергана, 24-май, 2024 год.

STATISTIKASI TAHLILI. PEDAGOGICAL SCIENCES AND TEACHING METHODS, 2(20), 235-237.

12. Yavkachovich, R. R., Umidaxon, R., Adhamovna, M. M., Arabboyevich, N. I., & Arabboyevich, M. I. (2019). To the theory of current-voltage characteristics of the three-layer structure of semiconductors in diode switching. *European science review*, (11-12), 74-76.

13. Rasulov, V. R., Mo'minov, I. M., & Maqsudova, G. N. (2023). Phenomenological Analysis of the Current of the Single-Photon Polarization Photovoltaic Effect. *Best Journal of Innovation in Science, Research and Development*, 2(5), 40-44.

14. Arabboyevich, M. I., Nasiriddinova, M. G., & Muxlisaxon, T. L. (2023, November). CAPACITANCE VOLTAGE CHARACTERISTICS. In *Fergana state university conference* (pp. 105-108).

15. Arabboyevich, M. I., Muxlisaxon, T. L., & Gulhayo, K. (2023, November). KRISTALL PANJARALARNING TUZILISHI VA ELEKTROFIZIK XUSUSIYATLARI. In *Fergana state university conference* (pp. 38-38).

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ И ПРИМЕСНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ФОТОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ЯЧЕЙКИ

З. Хайдаров

Ферганский государственный университет, Узбекистан

E-mail адрес: zokir_nursuh@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе приводятся результаты теоретических расчётов стационарного времени жизни и стационарной примесной фотопроводимости, а так же времени спада после выключения света в зависимости от положения уровня Ферми. Показана, что с возрастанием интенсивности света примесная фотопроводимость увеличивается во всех областях равновесной концентрации, причём при очень больших интенсивностях освещения примесная фотопроводимость стремится к предельному значению. Был отмечен характер изменения стационарного времени жизни при высоком уровне оптического возбуждения так, что она уменьшается в области слабого заполнения с увеличением интенсивности оптического возбуждения J . А так же из проделанных расчётов выходит, что время релаксации слабо зависит от интенсивности света.

Ключевые слова: время жизни, примесная фотопроводимость, уровень Ферми, время релаксации, оптическое возбуждение, эмиттерный уровень.

Введение

Газоразрядная ячейка нашла достаточно широкое применение при оптической фоторегистрации, в частности, пространственно-временной диагностике лазерных излучений и тепловых полей различных объектов в области инфракрасных (ИК) излучений [1-8]. Однако использование фотоэлектродов в газоразрядной ячейке с малой величиной удельной проводимости, меньше, чем 10^7 Ом·см [4] и при высоком уровне оптического возбуждения является затруднительной задачей в ИК-фотографировании. Отсутствие теоретических предпосылок для анализа фотопроводимости с временем жизни равновесных и неравновесных носителей, а также концентрации фотоносителей при высоком уровне оптического возбуждения с примесных уровней делает ее более сложной при разработке фотоприемников для газоразрядной ячейки в полупроводниковой фотографической ионизационной камере (ПФИК) [2]. Поэтому необходимо анализировать генерационные и рекомбинационные процессы в газоразрядной ячейке с полупроводниковыми электродами ПФИК. Кроме того, надо сказать, что в любом случае необходимо обеспечить температурный интервал для создания условий фотоэлектрического гистерезиса с высокой разрешающей способностью и чувствительностью фотографического процесса в ПФИК [2, 3].

В настоящей работе приводятся результаты теоретических расчетов для анализа времени жизни и стационарной примесной фотопроводимости, а также релаксационного времени спада при высоком уровне оптического возбуждения от положения уровня Ферми.

Результаты расчётов

Стационарное время жизни τ_L избыточной концентрации носителей Δn (электронов), возбужденных в зону проводимости светом с интенсивностью J с

примесных уровней, имеющих концентрацию M и энергию E_M , выражается формулой [9]

$$\frac{1}{\tau_L} = \gamma \left(N_{cM} + \frac{MN_{cM}}{N_{cM} + n_0} + n_0 + \Delta n \right) + qJ, \quad (1)$$

где n_0 – равновесная концентрация электронов проводимости, $N_{cM} = N_c \exp(E_M/kT)$, N_c – плотность состояний в зоне проводимости, γ – коэффициент рекомбинации, E_M – энергия ионизации электронов, T – термодинамическая температура.

Величина τ_L является и характеристическим временем нарастания фотопроводимости при включении освещения. Спад после выключения света идёт с постоянной времени τ_d

$$\frac{1}{\tau_d} = \gamma \left(N_{cM} + \frac{MN_{cM}}{N_{cM} + n_0} + n_0 + \Delta n_0 \right). \quad (2)$$

Стационарная концентрация определяется выражением

$$\Delta n = \frac{1}{2} \left(N_{cM} + \frac{MN_{cM}}{N_{cM} + n_0} + \frac{qJ}{\gamma} \right) \sqrt{\left[1 + \frac{4Mn_0qJ}{N_{cM} + n_0} \right] / \left[\gamma \left(N_{cM} + \frac{MN_{cM}}{N_{cM} + n_0} + n_0 + \frac{qJ}{\gamma} \right)^2 \right]}. \quad (3)$$

С помощью (1), (2) и (3) уравнений можно построить зависимости:

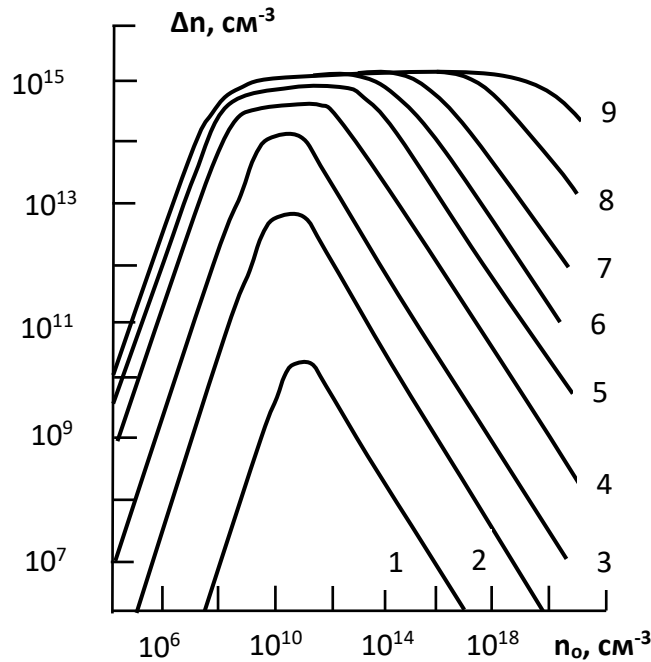


Рис. 1. Зависимость примесной фотопроводимости от положения уровня Ферми при разных значениях интенсивности возбуждающего света J , фотон/($\text{см}^2 \cdot \text{с}$): 1 – 10^{13} , 2 – 10^{15} , 3 – 10^{17} , 4 – 10^{19} , 5 – 10^{20} ,

стационарного времени жизни τ_L , релаксационного времени спада после выключения света τ_d и стационарной концентрации носителей Δn от равновесной концентрации электронов n_0 (определяющей положение уровня Ферми) при различных значениях интенсивности оптического возбуждения J .

На рис. 1 приведены результаты расчета зависимости стационарной концентрации носителей (примесной фотопроводимости) от положения уровня Ферми при различных значениях интенсивности оптического возбуждения J , на рис. 2 – стационарного времени жизни от положения уровня Ферми, а на рис. 3 – релаксационного времени от положения уровня Ферми.

Обсуждение

В этих рисунках можно выделить три характерные области изменения Δn , τ_L и τ_d : 1) область слабого заполнения уровней M (в данном примере $n_0 \leq 10^8 \text{ см}^{-3}$); 2) область «среднего» заполнения уровней M ($10^8 \leq n_0 \leq 10^{12} \text{ см}^{-3}$); 3) область сильного заполнения уровней M ($n_0 \geq 10^{12} \text{ см}^{-3}$). По мере возрастания интенсивности света Δn увеличивается во всех указанных областях, причём при очень больших интенсивностях освещения примесная фотопроводимость стремится к предельному значению, равному равновесной концентрации электронов на примесных уровнях M . Вершина кривой $\Delta n(n_0)$ уровне возбуждения. С ростом интенсивности “полка” удлиняется в сторону больших равновесных концентраций. Она определяется координатой

$$n_{0(\max)} = \sqrt{MN_{CM} - N_{CM}^2}, \quad (4)$$

при этом уровень Ферми понижается в сторону потолка валентной зоны.

Зависимость $\tau_L(n_0)$ по формуле (1) дает представление о характере изменения стационарного времени жизни при высоком уровне возбуждения с изменением положения уровня Ферми. Уменьшение времени жизни τ_L в области слабого заполнения, то есть, когда уровень Ферми значительно выше эмиттерного уровня, непосредственно связано с последним членом суммы в формуле (1), $\tau_L \approx 1/(qJ)$. Его можно интерпретировать как время жизни электрона на эмиттерном уровне относительно его взаимодействия с потоком

фотонов интенсивности J становится несимметричной и пологой относительно положения максимума при низком уровне оптического возбуждения.

Для отдельных участков равновесного заполнения могут быть записаны следующие приближенные выражения

1. Малое заполнение ($N_{cm} > n_0$)

$$\Delta n \approx \frac{qJ}{\gamma M + qJ} \frac{M n_0}{N_{cm} + n_0}, \tau_L \approx \frac{1}{\gamma M + qJ}, \tau_d \approx \frac{1}{\gamma M}.$$

2. В области «среднего» заполнения

$$\Delta n \approx \frac{qJM n_0 (N_{cm} + n_0)}{N_{cm} M + qJ (N_{cm} + n_0)}, \tau_L \approx \frac{N_{cm} + n_0}{\gamma [N_{cm} M + qJ (N_{cm} + n_0)]}, \tau_d \approx \frac{N_{cm} + n_0}{\gamma M N_{cm}}.$$

3. При полном заполнении и высокой равновесной концентрации

$$\Delta n \approx \frac{qMJ}{\gamma n_0 + qJ} \frac{n_0}{N_{cm} + n_0}, \tau_L \approx \frac{1}{\gamma n_0 + qJ}, \tau_d \approx \frac{1}{\gamma n_0}.$$

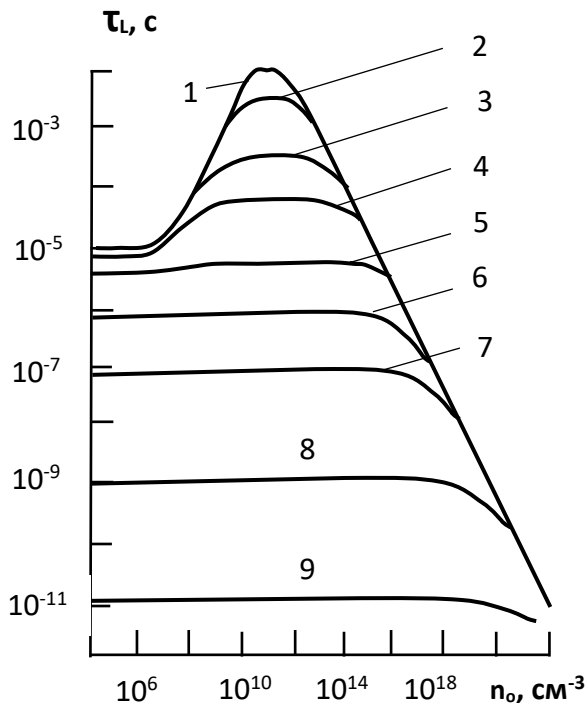


Рис. 2. Зависимость стационарного времени жизни от положения уровня Ферми для различных значений интенсивности

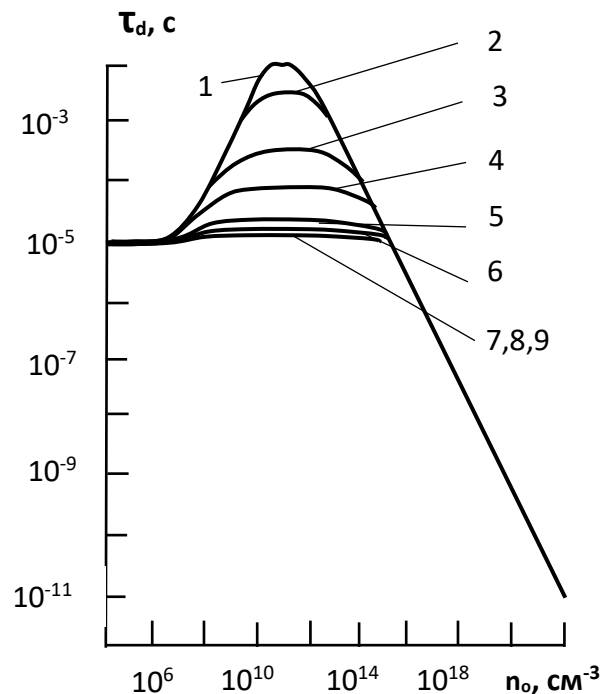


Рис. 3. Зависимость релаксационного времени спада после выключения света от положения уровня Ферми для

Выводы. Указанный процесс определяет темп установления стационарного состояния в случае очень сильного оптического возбуждения. В отличие от этого быстрого процесса обмена электронов между зоной и примесными уровнями после выключения освещения, как видно из уравнения (2), рекомбинация, то есть τ_d относительно слабо зависит от интенсивности света. В этом случае рекомбинация может изменяться только за счет уменьшения неравновесного заполнения и возрастания концентрации электронов в зоне проводимости. Пределы и того, и другого (генерационный и рекомбинационный) процессов ограничены либо концентрацией уровней M , либо равновесным их заполнением, то есть $\Delta n \approx m_0$, поэтому релаксация спада в темноте относительно слабо изменяется с интенсивности освещения.

Литература

1. Х.Т. Йулдашев, Ш.С. Касымов, З. Хайдаров. Фотопреобразователь ИК-изображений со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и люминофором // Прикладная физика. 2016. №2. Ст. 94-99.
2. З. Хайдаров, Х.Т. Йулдашев. Новый фотографический эффект в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом // Прикладная физика. 2016. №5. Ст. 75-81.
3. З. Хайдаров, К.З. Хайдарова, Х.Т. Йулдашев. Высокочувствительная полупроводниковая ионизационная фотографическая камера для инфракрасного диапазона // Прикладная физика. 2017. №1. Ст. 65-70.
4. L.G. Paritskii, Z. Khaidarov, O. Mukhamadiev, O. Dadabaev. Spatial stabilization of the current in a semiconductor-gas discharge system // Fiz. Tekh. Poluprovodn. 1993. №27 (11-12). P. 2011-2018.
5. Ш.С. Касымов, Л.Г. Парицкий. Патент России № 479071. Устройство для получения изображений // Опубликовано в Б.И., №28, 1975 г.
6. Ю.А. Астров, В.В. Егоров, Ш.С. Касымов, В.М. Муругов, Л.Г. Парицкий, С.М. Рывкин, Ю.М. Шереметьев. Новое фотографическое устройство для исследования характеристик лазерного ИК излучения // Квантовая электроника, 1977, Т.4, №8, ст. 1681-1685.
7. Ю.А. Астров, В.Б. Шуман, А.Н. Лодыгин, Л.М. Порцель, А.Н. Махова. Разработка фотоприемников для преобразователей изображений: легирование кремния селеном из газовой фазы // Физика и техника полупроводников, 2008. Vol. 42(4). Ст. 457-462.
8. Х.Т. Йулдашев, Б.З. Хайдаров, Ш.С. Касымов. Исследование фотоэлектрические и фотографические характеристики полупроводниковой фотографической системы ионизационного типа // Физическая инженерия поверхности. 2015. №2. Ст. 141-147.
- С.М. Рывкин. // Фотоэлектрические явления в полупроводниках. – М.: Наука. 1963.