

Моделирование частотных сканов

Богачев А.М.

25 июля 2022 г.

Оглавление

Список сокращений	2
1 Цели и задачи	3
2 Физическая модель	5

Список сокращений

ГУ – Глубокий уровень

РСТГУ – Релаксационная спектроскопия глубоких уровней

Глава 1

Цели и задачи

Согласно обзору [1] сигналы релаксации ёмкости барьерных структур можно условно разделить на три группы:

1. Моноэкспоненциальный сигнал релаксации, обусловленный одним энергетическим уровнем в запрещённой зоне полупроводника.
2. Сигнал релаксации, состоящий из суммы нескольких моноэкспоненциальных сигналов релаксации.
3. Сигнал релаксации, характеризуемый непрерывным распределением скоростей эмиссии, представленным спектральной функцией $g(\lambda)$.

Таким образом, цель работы по моделированию частотных сканов можно описать следующим образом: найти способ определять спектральную функцию $g(\lambda)$, её параметры, а также зависимость этих параметров от температуры.

Для достижения поставленной цели нужно решить следующие задачи:

1. Разработать алгоритм идентификации частотного скана моноэкспоненциального сигнала релаксации.
2. Разработать алгоритм идентификации частотного скана неэкспоненциального сигнала релаксации с показателем p , характеризующим нелинейность и неэкспоненциальность.
3. Разработать программу идентификации частотного скана сигнала релаксации, состоящего из суммы моноэкспоненциальных сигналов. Программа должна определять параметры каждого моноэкспоненциального сигнала.
4. Разработать программу идентификации группы частотных сканов при разных температурах. На данном этапе предполагается, что сигнал релаксации образован суммой моноэкспоненциальных сигналов, количество которых не меняется в зависимости от температуры, меняются только их параметры.

5. Разработать программу идентификации спектральной функции $g(\lambda)$ и её параметров для отдельного частотного скана.
6. Разработать программу идентификации спектральной функции $g(\lambda)$ и её параметров для группы частотных сканов при разных температурах, полагая, что от температуры зависят только параметры $g(\lambda)$.

Глава 2

Физическая модель

В данном разделе представлено описание модели частотного скана в физических формулах.

Согласно публикации [2] скорость эмиссии носителей заряда определяется выражением 2.1. В выражении 2.1 приведены обозначения для неосновных носителей. Аналогичное выражение может быть написано для основных.

$$e_1 = (\sigma_1 \langle v_1 \rangle N_{D1} / g_1) \exp \left(\frac{-\Delta E}{kT} \right), \quad (2.1)$$

где

σ_1 – сечение захвата носителей заряда,

$\langle v_1 \rangle$ – средняя тепловая скорость носителей заряда,

N_{D1} – эффективная плотность состояний в зоне неосновных носителей заряда,

g_1 – фактор вырождения уровня соответствующего глубокого уровня,

ΔE – энергия активации глубокого уровня,

k – постоянная Больцмана,

T – абсолютная температура.

Стандарт ASTM F978-02 предлагает ввести предэкспоненциальный множитель B , определяемый выражением 2.2, и вычислять его при анализе результатов измерений.

$$B = \frac{\sigma_1 \langle v_1 \rangle N_{D1}}{g_1 T^2} \quad (2.2)$$

С учётом предэкспоненциального множителя B выражение 2.1 принимает вид выражения 2.3.

$$e_1 = B T^2 \exp \left(\frac{-\Delta E}{kT} \right). \quad (2.3)$$

Соответственно, постоянная времени релаксации ёмкости, обратнопропорциональная скорости эмиссии носителей заряда, определяется выражением 2.4.

$$\tau_1 = \frac{1}{e_1} = \frac{\exp\left(\frac{\Delta E}{kT}\right)}{BT^2}. \quad (2.4)$$

Согласно обзорам [3] и [4] сигнал релаксации ёмкости р-п-перехода, вызванный одним глубоким уровнем носит экспоненциальный характер и может быть описан выражением 2.5, если он вызван влиянием ловушек основных носителей зряда, и выражением 2.6, если он вызван ловушками неосновных ностиелей заряда.

$$\Delta C(t) = C_0 - A \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right), \quad (2.5)$$

$$\Delta C(t) = C_0 + A \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right), \quad (2.6)$$

где

C_0 – барьерная ёмкость р-п-перехода в начальный момент времени,

A – амплитуда сигнала релаксации ёмкости.

В спектрометре DLS-82E используется корреляционный метод обработки сигнала релаксации ёмкости, при этом перед корреляционной обработкой из сигнала вычитается постоянная составляющая. Таким образом, выражения 2.5, 2.6 принимают следующий вид:

$$\Delta C(t) = A \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right), \quad (2.7)$$

Выходной сигнал коррелятора спектрометра DLS-82E определяется выражением 2.8.

$$S(\tau, C_A, F_0, t_1) = C_A K_{BS} K_{LS} \phi(\tau, F_0, t_1), \quad (2.8)$$

где

C_A – амплитуда емкостного релаксационного сигнала,

K_{BS} – масштабный коэффициент, зависящий от чувствительности емкостного моста,

K_{LS} – масштабный коэффициент селектора,

τ – постоянная времени релаксации гулкокого уровня,

F_0 – частота сканирования импульсов заполнения,

t_1 – длительность импульса заполнения,

$\phi(\tau, F_0, t_1)$ – функция определяемая выражением 2.9.

$$\phi(\tau, F_0, t_1) = M\tau F_0 e^{-\frac{0.05}{\tau F_0}} \left(1 - e^{\frac{t_1 F_0 - 0.45}{\tau F_0}} - e^{-\frac{0.5}{\tau F_0}} + e^{\frac{t_1 F_0 - 0.95}{\tau F_0}} \right), \quad (2.9)$$

где M – масштабный множитель, определяемый выражением 2.10.

$$M = \frac{1}{\max \left[\tau F_0 e^{-\frac{0.05}{\tau F_0}} \left(1 - e^{\frac{t_1 F_0 - 0.45}{\tau F_0}} - e^{-\frac{0.5}{\tau F_0}} + e^{\frac{t_1 F_0 - 0.95}{\tau F_0}} \right) \right]} \quad (2.10)$$

Список литературы

- [1] Andrei A. Istratov и Oleg F. Vyvenko. «Exponential analysis in physical phenomena». В: *Review of Scientific Instruments* 70.2 (1999), с. 1233—1257. DOI: 10.1063/1.1149581. eprint: <https://doi.org/10.1063/1.1149581>. URL: <https://doi.org/10.1063/1.1149581>.
- [2] D. V. Lang. «Deep-level transient spectroscopy: A new method to characterize traps in semiconductors». В: *Journal of Applied Physics* 45.7 (1974), с. 3023—3032. DOI: 10.1063/1.1663719.
- [3] A. R. Peaker, V. P. Markevich и J. Coutinho. «Tutorial: Junction spectroscopy techniques and deep-level defects in semiconductors». В: *Journal of Applied Physics* 123.16 (2018), с. 161559. DOI: 10.1063/1.5011327.
- [4] Chin-Che Tin. «Deep Level Transient Spectroscopy». В: *Characterization of Materials*. John Wiley & Sons, Ltd, 2012, с. 1—14. ISBN: 9780471266969. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471266965.com036.pub2>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/0471266965.com036.pub2>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/0471266965.com036.pub2>.