

Моделирование деградации процессов записи/удаления в энергонезависимой памяти на основе квантовых точек

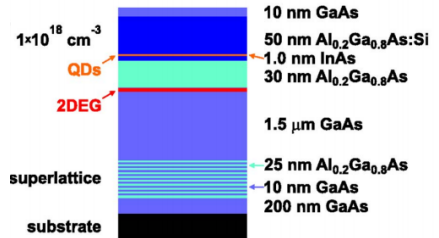
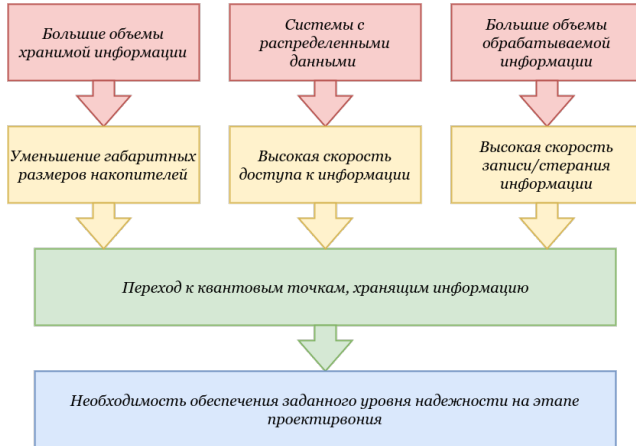
Выполнил: студент гр. РЛ6–82 Прохоров М.Д.

Руководитель: к.т.н. доц. Данилов И.И

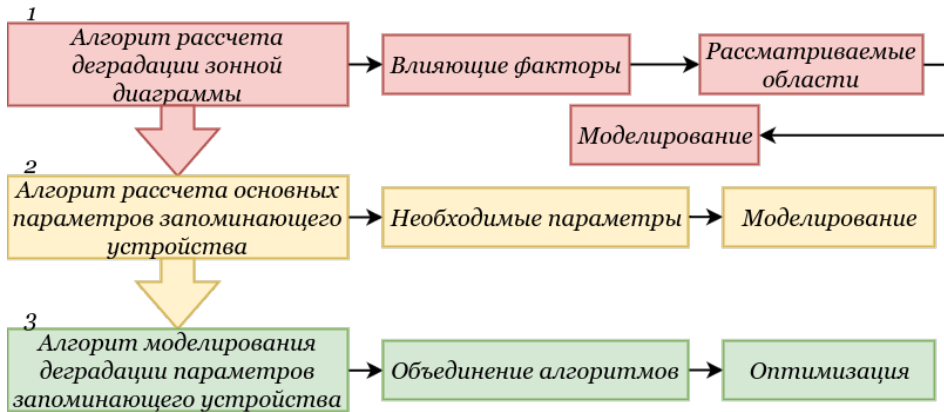
МГТУ им. Н.Э.Баумана

Москва, 2017

Постановка проблемы



Постановка проблемы



Необходимо разработать алгоритм расчета деградации основных параметров QD-Flash для обеспечения заданного уровня надежности еще на этапе проектирования.

Цели и задачи

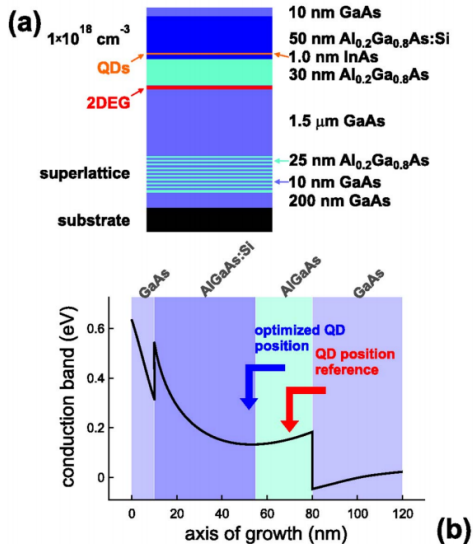
Цель работы:

- ▶ Нахождение модели деградации процессов записи/стирания информации в запоминающих устройствах на основе квантовых точек.

Задачи работы:

- ▶ Исследования механизма деградации гетероструктуры и математического метода моделирования деградации гетероструктуры;
- ▶ Исследование устройства работы запоминающего устройства на основе квантовых точек и математической модели моделирования процессов записи/стирания информации;
- ▶ Разработка алгоритма расчета деградации процессов записи/стирания информации в запоминающем устройстве на основе квантовых точек.

Деградация зонной структуры



Термическая деградация зонной структуры запоминающего устройства обуславливается диффузионным расплыванием гетеропереходов:

- ▶ i-GaAs/ n^+ - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$;
- ▶ n^+ - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ /i-InAs;
- ▶ i-InAs/i- $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$;
- ▶ i- $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ /i-GaAs.

Необходимо выяснить какие процессы доминируют, и какими можно пренебречь.

Диффузионное размытие

Диффузионное расплытие описывается с законами Фика:

$$\begin{aligned}\bar{J} &= -D\nabla C, \quad \bar{J}_x = -\bar{e}_x D_x \frac{\delta}{\delta x} C_x; \\ \frac{\delta}{\delta t} C &= -\nabla(D\nabla C), \quad \frac{\delta}{\delta t} C_x = -\frac{\delta}{\delta x} D_x \frac{\delta}{\delta x} C_x; \\ D_{i-Al_xGa_{1-x}As} &= D_0 \exp \left[-\frac{E_a}{k_B T} \right], \quad D_{Al,Si} = D_{i-Al_xGa_{1-x}As} \left(\frac{N_D}{n_i} \right)^3.\end{aligned}$$

Для моделирования диффузионных процессов используются численные методы, одни из них — «Метод конечных разностей». Метод заключается в аппроксимации дифференциальных операторов конечными разностями:

$$\begin{aligned}\frac{\delta y_i}{\delta x} &= \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta x}; \\ \frac{\delta^2 y_i}{\delta x^2} &= \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2}.\end{aligned}$$

Конечно-разностная схема для решения II закона Фика, при постоянном коэффициенте диффузии

«Закрытая» система:

$$\begin{cases} C_1^{i+1} = (1 - \lambda)C_1^i + \lambda C_2^i; \\ C_k^{i+1} = \lambda C_{k-1}^i + (1 - 2\lambda)C_k^i + \lambda C_{k+1}^i; \\ k \in [2, \dots, N - 1]; \\ C_N^{i+1} = (1 - \lambda)C_N^i + \lambda C_{N-1}^i; \\ \lambda = D \frac{\Delta t}{\Delta x^2}. \end{cases}$$

«Открытая» система:

$$\begin{cases} C_1^{i+1} = C_1^i; \\ C_k^{i+1} = \lambda C_{k-1}^i + (1 - 2\lambda)C_k^i + \lambda C_{k+1}^i; \\ k \in [2, \dots, N - 1]; \\ C_N^{i+1} = C_N^i; \\ \lambda = D \frac{\Delta t}{\Delta x^2}. \end{cases}$$

Конечно-разностная схема для решения II закона Фика, при коэффициенте диффузии зависящем от концентрации

«Закрытая» система:

$$\begin{cases} C_1^{i+1} = (1 - \lambda_+)C_1^i + \lambda_+ C_2^i; \\ C_k^{i+1} = \lambda_-^i C_{k-1}^i + (1 - \lambda_+^i - \lambda_-^i)C_k^i + \lambda_+^i C_{k+1}^i, \\ k \in [2, \dots, N-1]; \\ C_N^{i+1} = (1 - \lambda_-)C_N^i + \lambda_- C_{N-1}^i; \\ \lambda_+^i = D_{j+}^i \frac{\Delta t}{\Delta x^2}; \\ \lambda_-^i = D_{j-}^i \frac{\Delta t}{\Delta x^2}; \\ D_{j\pm}^i = \frac{D_j^i + D_{j\pm 1}^i}{2}. \end{cases}$$

«Открытая» система:

$$\begin{cases} C_1^{i+1} = C_1^i; \\ C_k^{i+1} = \lambda_-^i C_{k-1}^i + (1 - \lambda_+^i - \lambda_-^i)C_k^i + \lambda_+^i C_{k+1}^i; \\ k \in [2, \dots, N-1]; \\ C_N^{i+1} = C_N^i; \\ \lambda_+^i = D_{j+}^i \frac{\Delta t}{\Delta x^2}; \\ \lambda_-^i = D_{j-}^i \frac{\Delta t}{\Delta x^2}; \\ D_{j\pm}^i = \frac{D_j^i + D_{j\pm 1}^i}{2}. \end{cases}$$

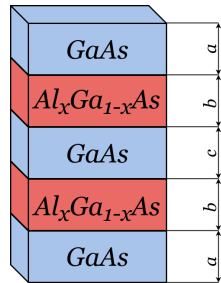
Исследование диффузионного расплытия гетероструктур

Исследуем расплытие данных гетероструктур:

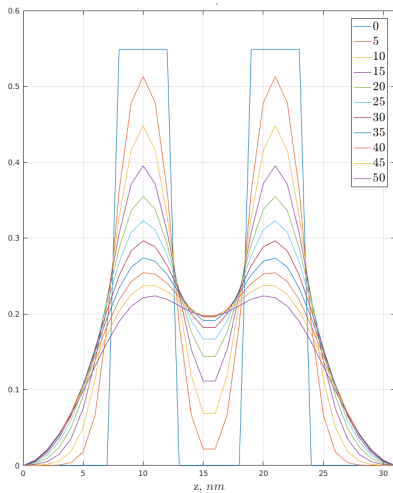
- ▶ $i\text{-GaAs}/n^+\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$;
- ▶ $n^+\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/i\text{-InAs}$;
- ▶ $i\text{-InAs}/i\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$;
- ▶ $i\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/i\text{-GaAs}$.

на примере симметричной ГС при различных температурах и выявим доминирующий процесс.

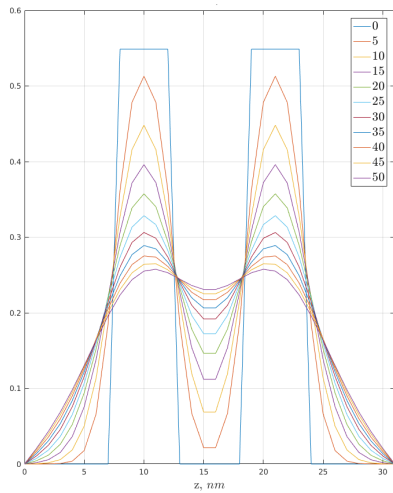
Структура для определения доминирующего диффузионного процесса:



Моделирование диффузионного размытия i-GaAs/i-Al₄₅Ga₅₅As

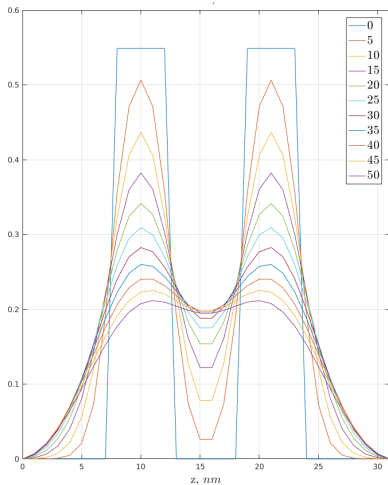


«Закрытая» система при $T = 800\text{K}$.

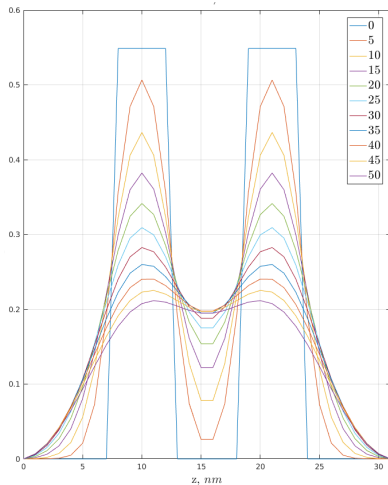


«Открытая» система при $T = 800\text{K}$.

Моделирование диффузионного размытия n-GaAs/n-Al₄₅Ga₅₅As



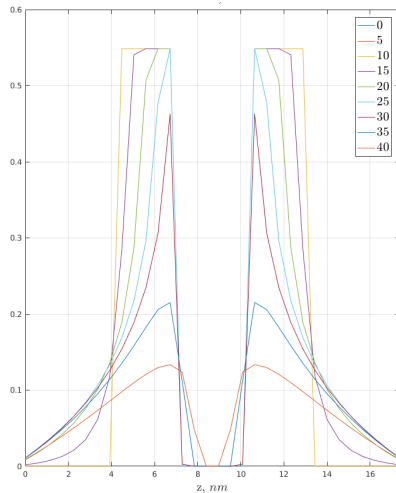
«Закрытая» система при $T = 640\text{K}$ и $N_d = 5 * 10^{15}\text{cm}^{-3}$.



«Закрытая» система при $T = 640\text{K}$ и $N_d = 5 * 10^{15}\text{cm}^{-3}$.

Моделирование диффузионного размытия

$n^+ - \text{GaAs}/i - \text{GaAs}/i - \text{Al}_{45}\text{Ga}_{55}\text{As}/n^+ - \text{GaAs}$

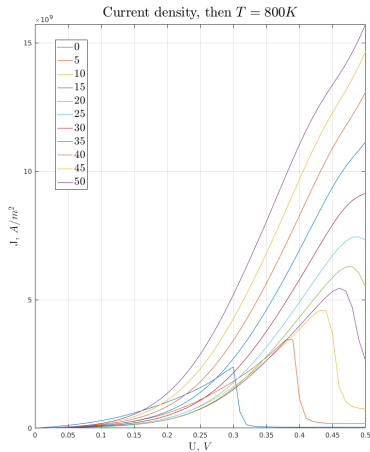


Система при $T = 350\text{K}$ и $N_d = 2 * 10^{17}\text{sm}^{-3}$

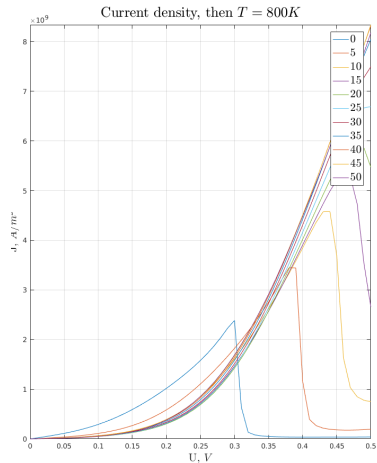
Численный метод моделирования токопереноса через гетероструктуру

При моделировании токопереноса через гетероструктуру воспользуемся методом конечных разностей:

Моделирование моделирование деградации ВАХ ГС i-GaAs/i-Al₄₅Ga₅₅As

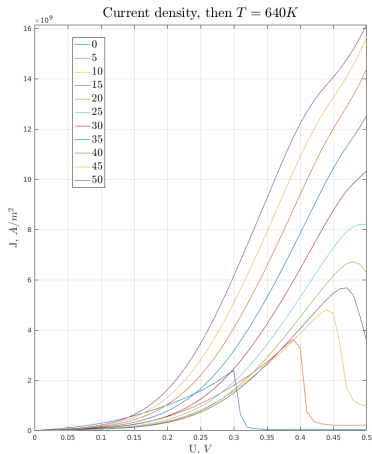


«Закрытая» система при $T = 800K$.

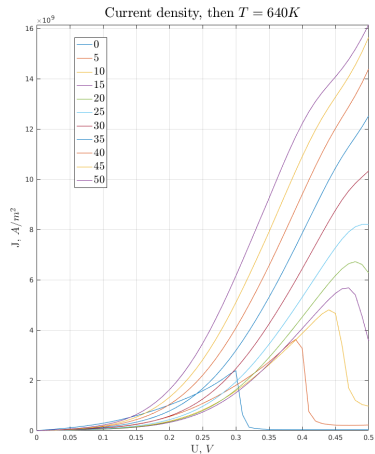


«Открытая» система при $T = 800K$.

Моделирование моделирование деградации ВАХ ГС n-GaAs/n-Al₄₅Ga₅₅As

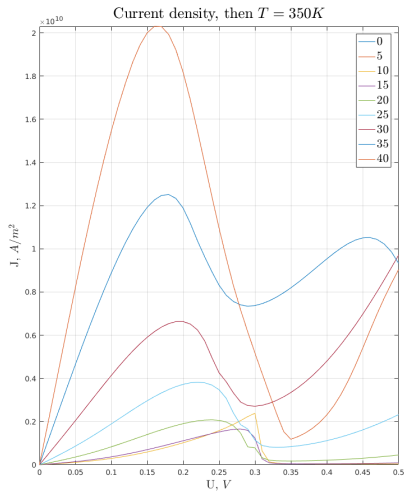


«Закрытая» система при $T = 640K$ и
 $Nd = 5 * 10^{15} sm^{-3}$.



«Закрытая» система при $T = 640K$ и
 $Nd = 5 * 10^{15} sm^{-3}$.

Моделирование моделирование деградации ВАХ ГС $n^+ - \text{GaAs} / i - \text{GaAs} / i - \text{Al}_{45}\text{Ga}_{55}\text{As} / n^+ - \text{GaAs}$



Система при $T = 350K$ и $N_d = 2 * 10^{17} \text{sm}^{-3}$