

УДК 537.311.322

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ СТРУКТУР С НЕОДНОРОДНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ

Майский Д.Е., Никишин Е.В.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
Тел. +7 (834-2) 73-59-05 E-mail: mayskiy_de@mail.ru

Аннотация. Проведено теоретическое исследование кинетики фотопроводимости резистора с двумя глубокими примесными центрами на основе компенсированного полупроводника при неоднородном распределении рекомбинационных центров. Использовались параметры характерные для кремния и примесей, образующихся (внедренных) в кремнии. Изучено влияние концентрации донорных центров и диффузии электронов и дырок к поверхностям на фоточувствительность резистора и времена жизни носителей тока

Ключевые слова: полупроводник, фотопроводимость, время жизни, сопротивление, центр рекомбинации.

Изучение статистических особенностей поведения неравновесной системы носителей тока в полупроводниках играет важную роль во многих областях физики полупроводников и полупроводниковой техники. Работа самых разнообразных полупроводниковых приборов связана с избыточными носителями тока, диффузией и дрейфом по кристаллу и, наконец, их исчезновением в результате тех или иных механизмов рекомбинации. Дефекты, расположенные на поверхности кристалла приводят к неоднородному распределению неравновесных носителей заряда в объеме образца. Рекомбинация избыточных носителей тока на поверхности полупроводника приводит к истощению приповерхностных областей. Это вызывает диффузию избыточных носителей тока из середины образца к активным поверхностям.

В настоящее время идея использовать динамические неоднородности в процессах обработки и хранения информации, а также физические принципы интеграции числа элементов и числа функций, выполняемых микроэлектронным прибором, находит все большее применение. В качестве объекта исследования были выбраны фоторезисторные структуры типа с неоднородным распределением рекомбинационных центров. При расчетах использовались параметры характерные для кремния. Целью работы являлось выявление особенностей кинетики фотопроводимости при наличии избыточных рекомбинационных центров вблизи поверхностей фоторезистора. Нами рассматривался фоторезистор на основе компенсированного полупроводника с двумя глубокими центрами. Один из центров являлся уровнем прилипания, другой – рекомбинационным.

Ниже приведен анализ кинетики для компенсированного полупроводника с двумя глубокими центрами, параметры которых: $N_i=10^{17} \text{ см}^{-3}$, $N_d=10^{16} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $p_0=1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $n_0=1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $\sigma_{nr}=3,5 \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$, $\sigma_{nd}=3,5 \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$, $\sigma_{pr}=3,5 \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-3}\text{с}^{-1}$. Перезарядка мелких центров не учитывалась. Исследовались кинетические уравнения:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = g - R_n + \frac{1}{e} \text{div} j_n, \quad \frac{\partial p}{\partial t} = g - R_p + \frac{1}{e} \text{div} j_p,$$

$$\frac{\partial f_r}{\partial t} = \sigma_{nr} n (1 - f_r) - \sigma_{pr} p f_r, \quad \frac{\partial f_d}{\partial t} = \sigma_{nd} n (1 - f_d) - \alpha_d f_d.$$

На поверхности фоторезистора концентрация рекомбинационных центров может быть существенно больше, чем внутри. Это связано как с особенностями возникновения поверхностных состояний, так и со старением фоторезистора. Взаимодействие с агрессивной

внешней средой так же приводит к возникновению вблизи поверхности примесных центров. Распределение рекомбинационных центров по толщине полупроводника приведено на рис. 1. Вблизи поверхности использовалась функция нормального распределения. Исследованы резистивные структуры, толщина которых 10 - 100 мкм. Избыточная концентрация центров рекомбинации убывает до 10^{17} см^{-3} на толщине 2 мкм.

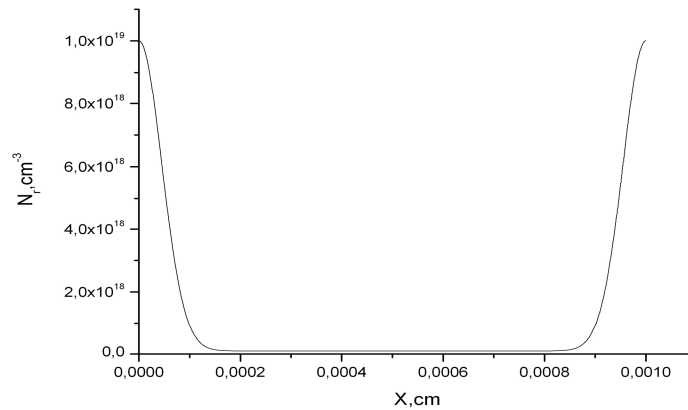


Рис.1 Распределение рекомбинационных центров по глубине полупроводника.

Зависимости времени жизни электронов и дырок от толщины полупроводника приведены на рис. 2-3. Концентрация избыточных электронов при этом сравнима с концентрацией избыточных дырок. Изменение концентрации дырок характеризуется быстрыми временами, электронов медленными. На кривой зависимости тока от времени будет наблюдаться быстрое возрастание в течении 10^{-9} с, затем медленное возрастание тока, по величине сравнимое с быстрым, в течении 10^{-4} с.

При освещении фоторезистора серией импульсов прямоугольной формы кинетика фототока определяется малыми временами жизни носителей заряда, которые равны соответственно 10^{-9} - 10^{-10} (рис. 4). При этом амплитуда колебаний концентраций избыточных носителей заряда составляет величину не менее 10% от максимальной амплитуды. То есть отдельные импульсы с частотой 10 ГГц различаются фоторезистивной структурой. При увеличении концентрации доноров амплитуду колебаний концентраций избыточных носителей заряда уменьшает.

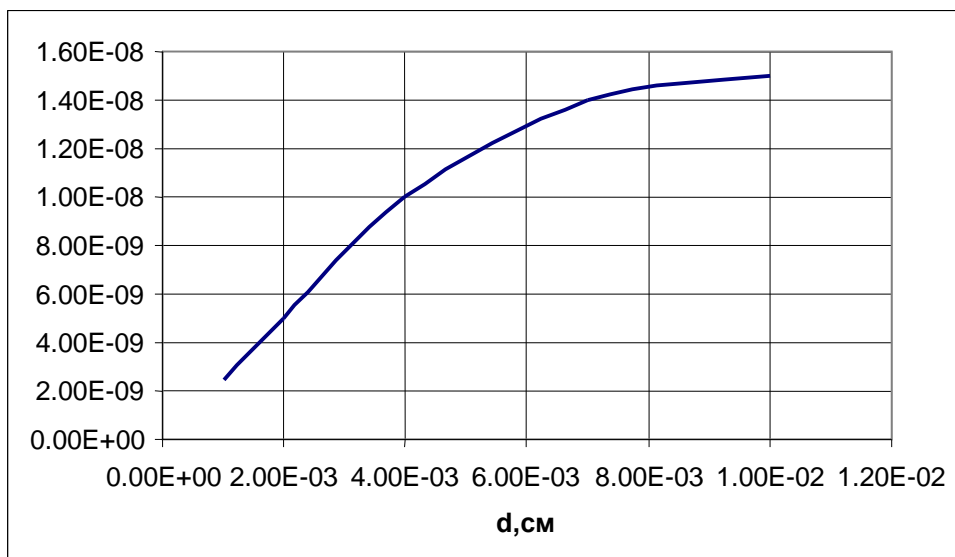


Рис. 2. Зависимость времени жизни неравновесных фотоэлектронов от толщины фоторезистора: $N_d=10^{16} \text{ см}^{-3}$, $g=2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$.

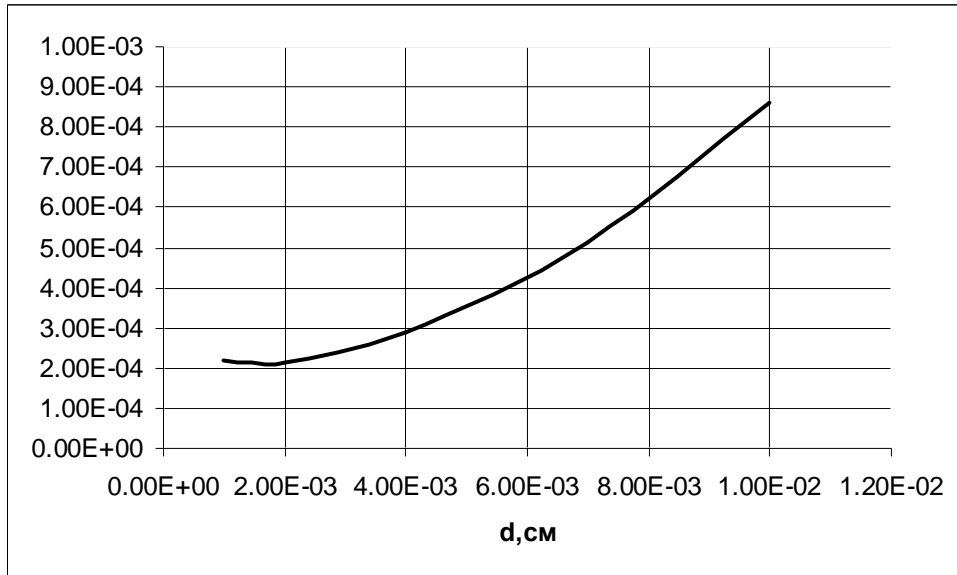


Рис. 3. Зависимость времени жизни неравновесных дырок от толщины фоторезистора:
 $N_d=10^{16} \text{ см}^{-3}$, $g=2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$.

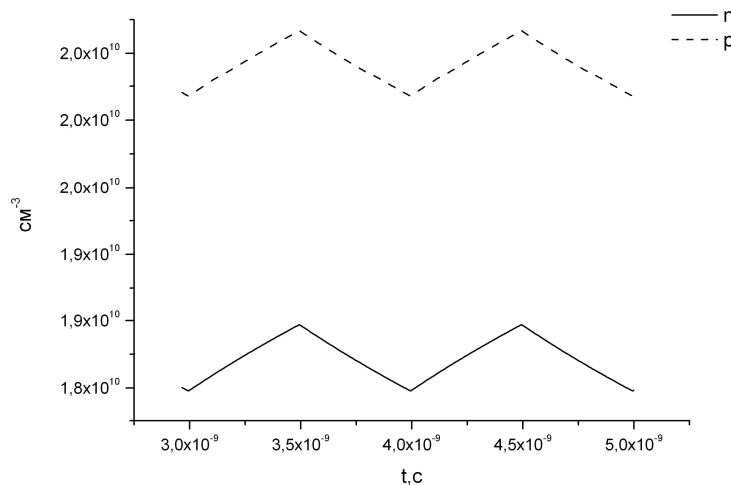


Рис. 4. Зависимость концентраций избыточных электронов и дырок при возбуждении импульсами света прямоугольной формы: $N_d=10^{17} \text{ см}^{-3}$, $g=2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$, $d=10 \text{ мкм}$, $T=10^{-9} \text{ с}$.

По результатам исследований сделаны выводы: фоторезистор с неоднородным распределением рекомбинационных центров, изготовленный на основе компенсированного полупроводника, толщина которого составляет величину меньшую 10 мкм, при $N_d < 10^{17} \text{ см}^{-3}$ обладает малой чувствительностью к свету. При $N_d > 10^{17} \text{ см}^{-3}$ фоточувствительность полупроводника может существенно увеличиться. На кривых зависимости фототока от времени наблюдаются два участка: участок быстрого роста, связанный с быстрым изменением средней концентрации электронов при фотовозбуждении и сравнимый с первым по величине участок медленного изменения фототока. При освещении фоторезистора серией импульсов прямоугольной формы кинетика фототока определяется малыми временами жизни носителей заряда. Импульсы, следующие с частотой 10 ГГц и менее, различаются фоторезистивной структурой.