

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Фізико-математичний факультет
Кафедра фізики

Дипломна робота (проект)

магістра

з теми: **«ДОСЛІДЖЕННЯ НЕРІВНОВАЖНИХ НОСІВ ЗАРЯДУ В
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДАХ»**

Виконала:

Студентка 2 курсу F1-M18 групи
спеціальності 014 Середня освіта
(Фізика)

Коваль Іванна Іванівна

Керівник:

кандидат фізико-математичних наук,
доцент, доцент кафедри фізики

Оптасюк С.В.

Рецензент:

кандидат педагогічних наук, доцент
кафедри

Білик Р.М.

Кам'янець-Подільський – 2019 р.

Зміст

Вступ.....	3
Розділ 1. Рекомбінація та статистика нерівноважних носіїв заряду.....	5
1.1. Типи і механізми рекомбінації.....	5
1.2. Статистика рекомбінації нерівноважних носіїв заряду.....	8
1.2.1 Низький рівень збудження - лінійна рекомбінація.....	8
1.2.2. Високий рівень збудження - квадратична рекомбінація.....	12
1.3. Рівняння неперервності з урахуванням процесів генерації і рекомбінації носіїв заряду в напівпровіднику.....	14
2. Рекомбінація з участю локалізованих станів.....	19
2.1. Центри рекомбінації, перетин захоплення.....	19
2.2. Модель Шоклі - Ріда – Хола.....	22
2.3. Домішкові центри рекомбінації.....	28
2.4. Радіаційні дефекти.....	30
3. Напівпровідникові бар'єрні структури в рівноважному і нерівноважному станах.....	39
3.1. Напівпровідник в стані рівноваги. Рівень Фермі та концентрації електронів і дірок.....	39
3.2. p - n -перехід в стані рівноваги. Збіднений шар і потенціал на межі p - n -переходу.....	40
3.3. Напівпровідник в нерівноважному стані. Основні співвідношення для нерівноважного напівпровідника.....	44
3.4. Розподіл концентрацій носіїв заряду в p - n -переході при зовнішній напрузі.....	45
3.5. Ємність p - n -переходу і струм зміщення.....	47
3.6. Струм через p - n -перехід.....	48
4. Моделювання струму в колі «Діод + резистор».....	51
4.1. Система «діод + резистор».....	51
4.2. Система «діод + Резистор » При постійному струмі.....	53
4.3. Розв'язок рівнянь, що описують систему «Діод + резистор».....	55
Висновки.....	60
Список використаних джерел.....	61

Вступ

Нерівноважні носії в напівпровідниках можуть виникати під впливом зовнішніх електричних полів, неіонізуючого електромагнітного випромінювання (включаючи оптичний діапазон), іонізуючого випромінювання та інших енергетичних факторів. Зазначені фактори викликають перехід електронів з валентної зони в зону провідності. Крім цього, під впливом електричного поля може відбуватися ударна іонізація атомів, коли електрон або дірка, прискорюючись в сильному електричному полі до енергії, достатньої для процесу іонізації, стикається з атомом, що викликає народження електронно-діркової пари. Часто такий процес призводить до пробію електричних переходів. У всіх цих випадках нерівноважні носії заряду є надлишковими над рівноважним носіями при даній температурі.

У більшості типів напівпровідникових приладів найбільш поширеним механізмом створення нерівноважних носіїв є інжекція їх з однієї напівпровідникової області в іншу під дією електричного поля, наприклад, інжекція електронів або дірок через електричний p-n-перехід. Зазвичай в цих випадках інтерес представляє поведінка неосновних носіїв.

Інерційність біполярних напівпровідникових приладів визначається накопиченням і розтіканням нерівноважних носіїв заряду. Рекомбінаційні процеси при цьому часто грають ключову роль, а основним параметром, що визначає перебіг рекомбінації носіїв заряду, є їх час життя τ (в разі електронів - τ_n , в разі дірок - τ_p). Від величини часу життя істотно залежить швидкодія біполярних приладів. Як наслідок цього, визначення τ [1, 2] і моделювання відгуку сигналу в схемах з напівпровідниковими діодами в залежності від $\tau_{p(n)}$ є актуальні завдання фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів.

Для зменшення часу життя нерівноважних носіїв заряду при виробництві імпульсних і швидкодіючих діодів і транзисторів на кремнії використовують легування домішками, що вносять в заборонену зону глибокі рівні (наприклад, золото, платина). Широке розповсюдження отримали радіаційні технології: опромінення електронами, γ -квантами, протонами, α -частинками.

Мета роботи: вивчення процесів генерації та рекомбінації нерівноважних носіїв заряду в напівпровідникових приладах; встановлення часу життя нерівноважних носіїв, моделювання струму в колі з нерівноважними зарядами.

Мета роботи полягала у розв'язанні таких наукових **завдань**:

1. Розглянути основні типи та механізми рекомбінації нерівноважних носіїв заряду;
2. Встановити роль локалізованих станів в рекомбінації з врахуванням нерівноважних носіїв заряду;
3. Здійснити порівняльну характеристику бар'єрних структур в рівноважному та нерівноважному станах;
4. Здійснити моделювання струму в колі при постійному струмі;

Об'єкт дослідження: напівпровідникові бар'єрні структури на основі кремнію .

Предмет дослідження: Стан та поведінка нерівноважних носіїв заряду в колі постійного струму та перехідні процеси в напівпровідникових структурах.

Методи дослідження: в роботі використано методи математичного моделювання, методи математичної фізики.

Висновки

Розглянуто основні типи та механізми рекомбінації нерівноважних носіїв заряду та встановлено роль локалізованих станів в рекомбінації з врахуванням нерівноважних носіїв заряду;

Час життя нерівноважних носіїв заряду це коефіцієнт пропорційності між швидкістю зміни концентрації носіїв заряду в нерівноважних умовах і концентрацією нерівноважних носіїв заряду, причому $1/\tau_n$ - це імовірність зникнення одного надлишкового електрона із зони провідності.

Час життя носіїв заряду являють собою величину, зворотну ймовірності їх рекомбінації, то при наявності декількох механізмів результуюча ймовірність рекомбінації повинна визначатися сумою парціальних внесків від кожного механізму.

Значення часу життя в об'ємі напівпровідника залежать від типу напівпровідника, його дефектно-домішкового складу, температури і може змінюватися в широких межах: від 10^{-2} до 10^{-8} с.

Дифузійний струм неосновних носіїв в більш легованій області несуттєвий в порівнянні з дифузійним струмом неосновних носіїв в менш легованій області. Так, для p^+-n - переходу дифузійний струм електронів в p -області значно менше дифузійного струму дірок в n -області, тому можна вважати, що сумарний струм електронів і дірок в p^+-n - переході дорівнює дірковому струму на межі p^+-n - переходу.

Список використаних джерел

1. Малер, Р. элементы интегральных схем / р. Маллер, т. кейминс. – М. : Мир, 1989. – 630 с.
2. Тогатов, В. В. Метод измерения времени жизни носителей заряда в базовых областях быстродействующих диодных структур / В. в. тогатов, п. а. Гнатюк // физика и техника полупроводников. – 2005. – т. 39, № 3. – с. 378–381.
3. Semiconductors – Basic Data / ed. O. Madelung. – Berlin : Springer, 1996. – 315 p.
4. Милнс, А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках / а. Милнс. – М. : Мир, 1977. – 562 с.
5. Вавилов, В. С. Действие излучений на полупроводники / в. с. вавилов, н. п. кекелидзе, л. с. смирнов. – М. : наука, 1988. – 192 с.
6. Бургуэн, Ж. Точечные дефекты в полупроводниках. экспериментальные аспекты / Ж. Бургуэн, М. ланно. – М. : Мир, 1985. – 304 с.
7. Вавилов, В. С. Дефекты в кремнии и на поверхности / в. с. вавилов, в. ф. киселев, Б. н. Мукашев. – М. : наука, 1990. – 216 с.
8. Емцев, В. В. Примеси и точечные дефекты в полупроводниках / в. в. емцев, т. в. Машовец. – М. : радио и связь, 1981. – 248 с.
9. Конозенко, И. Д. Радиационные эффекты в кремнии / и. д. конозенко, а. к. семенюк, в. и. Хиврич. – киев : наук. думка, 1974. – 199 с.
10. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов : в 2 т. / С. зи. – М. : Мир, 1984. – т. 1. – 455 с.
11. Носов, Ю. Р. Физические основы работы полупроводникового диода в импульсном режиме / Ю. р. носов. – М. : наука, 1968. – 263 с.
12. Тугов, Н. М. Полупроводниковые приборы / н. М. тугов, Б. а. Глебов, н. а. чарыков. – М. : энергоатомиздат, 1990. – 575 с.
13. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. корн, т. корн. – М. : наука, 1973. – с. 574.
14. Блихер. А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов / а. Блихер.

– л. : энергоатомиздат. ленингр. отд-ние, 1986. – 248 с.

15. Бонч-Бруевич, В. Л. Физика полупроводников / в. л. Бонч-Бруевич, с. Г. калашников. – М. : наука, 1990. – 688 с.

16. Бургуэн, Ж. Точечные дефекты в полупроводниках. экспериментальные аспекты / Ж. Бургуэн, М. ланно. – М. : Мир, 1985. – 304 с.

17. Вавилов, В. С. Действие излучений на полупроводники / в. с. вавилов, н. п. кекелидзе, л. с. смирнов. – М. : наука, 1988. – 192 с.

18. Конозенко, И. Д. Радиационные эффекты в кремнии / и. д. конозенко, а. к. семенюк, в. и. Хиврич. – киев : наук. думка, 1974. – 199 с.

19. Кузнецов, Н. В. Радиационная стойкость кремния / н. в. кузнецов, Г. Г. соловьев. – М. : энергоатомиздат, 1989. – 96 с.

20. Носов, Ю. Р. Физические основы работы полупроводникового диода в импульсном режиме / Ю. р. носов. – М. : наука, 1968. – 263 с.

21. Смит, Р. Полупроводники / р. смит. – М. : Мир, 1982. – 560 с.

22. Тугов, Н. М. Полупроводниковые приборы / н. М. тугов, Б. а. Глебов, н. а. чарыков. – М. : энергоатомиздат, 1990. – 575 с.

23. Фистуль, В. И. Введение в физику полупроводников / в. и. фистуль. – М. : высш.

шк., 1975. – 352 с.

24. Шалимова, К. В. Физика полупроводников / к. в. Шалимова. – М. : энергия, 1976. – 392 с. 25. Semiconductors – Basic Data / ed. O. Madelung. – Berlin : Springer, 1996. – 315 p