Министерство образования Российской Федерации

Новгородский государственный университет

имени Ярослава Мудрого

Кафедра физики твёрдого тела и микроэлектроники

**Математическое моделирование технологического процесса изготовления ТТЛ-инвертора**

Курсовая работа по дисциплине:

Математическое моделирование технологических процессов полупроводниковых приборов и ИМС

 Принял:

доцент кафедры ФТТМ

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Б.М. Шишлянников

“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2000 г.

доцент кафедры ФТТМ

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.Н. Петров

“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2000 г

 Выполнил:

Студент гр. 6031

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Д.С. Бобров

“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2000 г.

Великий Новгород

2000

**Техническое задание**

1 Предложить топологический вариант и представить режим технологического процесса изготовления биполярной структуры интегральной схемы полагая, что локальное легирование производиться методом диффузии.

2 Представить распределение примесей в отдельных областях структуры. Процессы сегрегации примеси при окислении можно не учитывать.

3 Рассчитать параметры модели биполярного транзистора, исходя из значений слоевых сопротивлений и толщины слоев структуры.

4 Рассчитать входные и выходные характеристики биполярного транзистора.

5 Рассчитать основные параметры инвертора, построенного на базе биполярного транзистора (напряжения логических уровней, пороговые напряжения, помехоустойчивость схемы, времена задержки и средний потребляемый ток схемы).

6 Рассчеты провести для номинальных значений режимов процесса диффузионного легирования и для двух крайних значений, определяемых с точностью поддержания температур при легировании области эмиттера Т=1.5 0С.

7 Разрешается аргументированная корректировка параметров технологического процесса или заданных слоев, с тем чтобы получить приемлемые характеристики схемы.

###### Таблица 1- Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант |  | Эмиттер |  |  | База |  | Коллектор |
|  | Примесь | ТДИФ, 0С | ХJe, мкм | Примесь | NS,см -3 | Толщина, мкм | Nb,см -3 |
| 3 | мышьяк | 1100 | 0,4 | бор | 2ּ10 18 | 0,6 | 1,5ּ10 16 |

**Содержание**

[Введение 5](#_Toc502047004)

[1Расчет режимов технологического процесса и распределение примесей после диффузии 6](#_Toc502047005)

[1.1 Распределение примесей в базе 6](#_Toc502047006)

[1.2 Расчет режимов базовой диффузии 6](#_Toc502047007)

[1.3 Распределение примесей в эмиттере 8](#_Toc502047008)

[1.4 Расчет режимов эмиттерной диффузии 8](#_Toc502047009)

[2 Расчет слоевых сопротивлений биполярного транзистора 13](#_Toc502047010)

[3 Расчет основных параметров инвертора 15](#_Toc502047011)

[Заключение 18](#_Toc502047012)

[Список используемой литературы 19](#_Toc502047013)

####

**Реферат**

Целью данной работы является моделирование технологического процесса изготовления биполярной структуры, затем ТТЛ-инвертора на базе этой структуры. В ходе работы необходимо рассчитать основные параметры схемы.

Пояснительная записка содержит:

-страниц………………………………………………………………..20;

-рисунков………………………………………………………………..4;

-таблиц…………………………………………………………………..3;

-приложений…………………………………………………………...10.

# Введение

Развитие микроэлектроники и создание новых БИС и СБИС требует новых методов автоматизированного проектирования, основой которого является математическое моделирование всех этапов разработки микросхемы.

Необходимость внедрения гибких систем автоматизированного проектирования очевидна, поскольку проектирование микросхем сложный и длительный процесс. В настоящее время используется сквозное моделирование микросхем, которое включает в себя расчет и анализ характеристик и параметров на следующих уровнях:

-технологическом;

-физико-топологическом;

-электрическом;

-функционально-логическом.

В ходе данной работы нам необходимо осуществить сквозное проектирование схемы ТТЛ-инвертора на трех первых уровнях.

Расчеты предусматривается произвести с использование программы расчета параметров модели биполярного транзистора Biptran и программы схемотехнического моделирования PSpice.

# 1Расчет режимов технологического процесса и распределение примесей после диффузии

## **1.1 Распределение примесей в базе**

Распределение примесей в базе описывается кривой Гаусса и определяется формулой:

, (1)

где: NS- поверхностная концентрация акцепторов;

 D- коэффициент диффузии примеси;

 t- время диффузии;

 - глубина залегания коллекторного p-n перехода.

Поверхностная концентрация определяется по формуле:

, (2)

Из формулы 1 выражаем D2t2:



Тогда имеем следующее выражение для распределения примеси в базе:

, (3)

Результаты расчета распределения примеси в базе приведены в таблице 1, а сама кривая представлена на рисунке 1.

## **1.2 Расчет режимов базовой диффузии**

К основным параметрам диффузионного процесса относят время диффузии и температуру диффузии.

Из выражения 2 найдём произведение D1t1 для первого этапа диффузии (загонки) по формуле:



где 

В результате получим:



Коэффициент диффузии примеси определяется из выражения Аррениуса:

, (4)

где =5.1 (для бора) – постоянная диффузии,

 =3.7 (для бора) – энергия активации,

 k – постоянная Больцмана,

 Т – температура процесса диффузии.

Таким образом для бора получаем следующее выражение:



 Температуру базовой диффузии при загонке выберем равной 1073К (800°С), а при разгонке 1373К (1100°С) тогда:









## **1.3 Распределение примесей в эмиттере**

Эмиттерную диффузию ведут в одну стадию и распределение примеси описывается erfc-функцией:



(5)

где  - концентрация предельной растворимости мышьяка в кремнии при заданной температуре (1100°С);

  - глубина залегания эмиттерного p-n перехода.

 Диффузия мышьяка идёт в неоднородно легированную базовую область, поэтому расчётная формула усложняется:



(6)

где при 1100°С;

 .

Подставив эти значения в выражение 6 получим: .

Подставляя это значение в выражение 5 получим распределение мышьяка в эмиттерной области после диффузии. График распределения представлен на рисунке 1.

## **1.4 Расчет режимов эмиттерной диффузии**

Найдём, по аналогии с базовой диффузией, для эмиттерной время и температуру процесса. В данном случае температура процесса задана (1100°С) и необходимо найти только время диффузии. Для этого необходимо сначала определить коэффициент диффузии, который находится из выражения 4. Постоянная диффузии D0 энергия активации  для фосфора равны 10,5 и 4,08 соответственно. Тогда получаем:



Решив это уравнение получим:

 ;

 t=98мин 33сек.

Так как эмиттерная диффузия проходит при высоких температурах, то она оказывает влияние на диффузию бора в базовой области. Необходимо учитывать это влияние. Учесть эмиттерную диффузию при базовой можно по следующей формуле:

 . (7)

Таким образом время разгонки при базовой диффузии с учётом влияния эмиттерной диффузии t2=53мин 44сек.. В таблице 2 представлены все основные параметры диффузионных процессов.

Таблица 2 – Параметры диффузионных процессов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Эмиттерная диффузия | Базовая диффузия |
|  |  | Загонка | Разгонка |
| Dt,  |  |  |  |
| D,  |  |  |  |
| t | 98мин 33с | 15мин 48с | 53мин 44с\* |

\* - время разгонки, представленное в таблице, уже с учётом эмиттерной диффузии

Совмещённое распределение примесей определяется выражением:



(8)

где , ,  - концентрации эмиттерной, базовой и коллекторной областей соответственно, в данной точке.

 График совмещённого распределения примесей представлен на рисунке 2.

Таблица 3-Распределение примесей в транзисторной структуре

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Глубина залегания примеси | Распределение примеси в эмиттере | Распределение примеси в базе | Суммарное распределение |
| x, см | N(x), см -3 | N(x), см -3 | N(x), см -3 |
| 0 | 1,6ּ10 21 | 2ּ10 18 | 1,59ּ10 21 |
| 4ּ10 –6 | 1,17ּ10 21 | 1,98ּ10 18 | 1,17ּ10 21 |
| 8ּ10 –6 | 7,81ּ10 20 | 1,94ּ10 18 | 7,79ּ10 20 |
| 1,2ּ10 –5 | 4,83ּ10 20 | 1,86ּ10 18 | 4,81ּ10 20 |
| 2,8ּ10 –5 | 2,59ּ10 19 | 1,36ּ10 18 | 2,45ּ10 19 |
| 3,2ּ10 –5 | 9,13ּ10 18 | 1,21ּ10 18 | 7,98ּ10 18 |
| 3,6ּ10 –5 | 3,13ּ10 18 | 1,06ּ10 18 | 2,05ּ10 18 |
| 4,8ּ10 –5 |  | 6,47ּ10 17 | 6,32ּ10 17 |
| 5,6ּ10 -5 |  | 4,31ּ10 17 | 4,16ּ10 17 |
| 6,4ּ10 –5 |  | 2,69ּ10 17 | 2,54ּ10 17 |
| 7,2ּ10 –5 |  | 1,58ּ10 17 | 1,43ּ10 17 |
| 8ּ10 –5 |  | 8,73ּ10 16 | 7,23ּ10 16 |
| 8,8ּ10 –5 |  | 4,52ּ10 16 | 3,02ּ10 16 |
| 9,6ּ10 –5 |  | 2,02ּ10 16 | 7,02ּ10 15 |
| 1,05ּ10 –4 |  | 9,08ּ10 15 | 5,91ּ10 15 |
| 1,1ּ10 –4 |  | 5,37ּ1015 | 9,62ּ10 15 |
| 1,15ּ10 –4 |  | 3,09ּ10 15 | 1,19ּ10 16 |
| 1,2ּ10 –4 |  | 1,74ּ10 15 | 1,33ּ10 16 |
| 1,3ּ10 –4 |  | 5,13ּ10 14 | 1,44ּ10 16 |
| 1,4ּ10 -4 |  | 1,36ּ10 14 | 1,48ּ10 16 |
| 1,5ּ10 –4 |  | 3,31ּ10 13 | 1,49ּ10 16 |

1- Распределение мышьяка в эмиттерной области после диффузии;

 2- Распределение бора в базовой области после диффукзии;

 3- Концентрация примеси в коллекторе

Рисунок 1-Профиль распределения примесей в эмиттере и базе

Рисунок 2- Суммарное распределение примесей эмиттера и базы

# 2 Расчет слоевых сопротивлений биполярного транзистора

Слоевые сопротивления для базовой и эмиттерной областей рассчитываем по следующей формуле:

, (9)

где q = 1.6ּ10 -19 Кл – заряд электрона;

 N(x,t) – распределение примеси в данной области транзисторной структуры;

 μ(N(x,t)) – зависимость подвижности от концентрации примеси.

Зависимость подвижности от концентрации примеси определяется по формулам:

(10)

(11)

Таким образом, слоевое сопротивление эмиттера рассчитываем по формуле:

, (12)

где NЭМ(x,t) – распределение примеси в эмиттере рассчитанное по формуле 5.

Теперь произведём расчёт слоевого сопротивления базы по формуле:

, (13)

где NБАЗ(x,t) – распределение бора в базовой области рассчитанное по формуле 1.

Для расчёта слоевых сопротивлений воспользуемся пакетом программ Mathcad 5.0 Plus, в результате расчёта получили следующие значения слоевых сопротивлений:

  = 7.16 Ом/кв;

 = 795 Ом/кв.

 Произведём также расчёт слоевых сопротивлений для двух крайних значений, определённых с точностью поддержания температур при легировании области эмиттера Т=±1,5°С. В результате расчётов получим следующие значения слоевых сопротивлений:

при Т = 1101,5°С  = 6.07 Ом/кв.

при Т = 1098,5°С = 7.37 Ом/кв.

Затем с помощью программы Biptran рассчитаем параметры моделей транзисторов при номинальной температуре и для двух крайних значений, определённых с точностью поддержания температур при легировании области эмиттера Т=±1,5°С.

В результате расчётов получаем следующие модели транзисторов (см. Приложение ).

# 3 Расчет основных параметров инвертора

Схема инвертора представлена на рисунке 3.


#### Рисунок 3-Схема инвертора

В данной курсовой работе необходимо определить следующие параметры инвертора:

* напряжение логических уровней;
* пороговое напряжение;
* времена задержки;
* помехоустойчивость схемы;
* среднюю потребляемую мощность.

Прежде чем приступить к расчету основных параметров инвертора, учтем влияние технологического процесса на номиналы резисторов. В данной работе мы будем выполнять высокоомные резисторы на основе базового слоя, а низкоомные на основе эмиттерного слоя, то естественно, что изменение температуры будет сказываться на номиналах резисторов.

Это связано с тем, как было описано выше, слоевое сопротивление изменяется с изменением температуры. Учитывая все выше сказанное и выражение:

,

где: l,b – геометрические размеры резисторов.

Тогда:

,

где: R’ – сопротивление с учетом температуры.

Таблица 4 – Сопротивления резисторов при различных температурах

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| R, Ом | Т=1100 0С | Т=1101,5 0С | Т=1098,5 0С |
| R1 | 20ּ103 | 19.8ּ103 | 20.20ּ103 |
| R2 | 1.5ּ103 | 1.48ּ103 | 1.51ּ103 |
| R3 | 8ּ103 | 7.98ּ103 | 8.08ּ103 |
| R4 | 120 | 101.7 | 123.52 |
| R5 | 3ּ103 | 2.97ּ103 | 3.03ּ103 |

При сравнении номиналов резисторов можно сделать вывод, что при увеличении температуры номиналы резисторов уменьшаются, а при уменбшении-увеличиваются.

Напряжение логических уровней определяем по передаточной характеристики ТТЛШ – инвентора, построенной при помощи пакета программ Pspice, которая представленаа в Приложении .

Напряжения логических нулей равны:

U° =B;

U' =B.

Для того, чтобы найти пороговое напряжения необходимо продифференцировать , тогда в соответствии с Приложением :

U°пор = 0.5B,

U'пор = 1.73B.

Зная напряжения логических уровней и пороговые напряжения, можно определить помехоустойчивость схемы:

Uпом = min(U0пом,U1пом)

U0пом = U0пор – U0

U1пом = U1 – U1пор

U0пом = В

U1пом

#### Uпом = В

Время задержки легко определить, сравнением входного и выходного импульсов (Приложение ) = В









 Средняя потребляемая мощность определяется из графика в Приложении 10:









Таким образом, получим потребляемую мощность:



 При расчёте выяснилось что у схемы маленькая помехоустойчивость. В связи с этим рекомендуется уменьшить сопротивление коллекторов у выходных транзисторов схемы (Q4 и Q5).

Это приведёт к уменьшению напряжения логического нуля, что в свою очередь приведёт к повышению помехоустойчивости схемы.

# Заключение

В ходе данной работы было произведено сквозное проектирование ТТЛШ – инвертора. В результате были рассчитаны параметры биполярного транзистора. Профили распределения примесей в биполярной структуре представлены на графиках в Приложениях 1,2,3, а модели транзисторов в Приложении 6.

Кроме того мы рассчитали такие параметры ТТЛШ – инвертора, как напряжение логических уровней, пороговые напряжения, помехоустойчивость схемы, время задержки, среднюю потребляемую мощность. Результаты расчётов представлены в пункте 3 и приложениях 7,8,9,10. Полученные результаты удовлетворяют требованиям ТТЛШ – микросхем.

 Расчёты представленные в этой работе являются приближёнными, так как для более точных расчётов необходимы более мощные средства автоматического проектирования.

 В ходе работы мы пренебрегли процессами сегрегации примеси при окислении, а также зависимостью коэффициента диффузии от концентрации.

 В результате работы мы получим математическую модель технологического процесса ТТЛШ –инвертора.

# Список используемой литературы

1 Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов.- Москва.: Высшая школа, 1974. – 400с.: ил.

2 Черняев В.Н. Физико-химические процессы в технологии РЭА: Учебное пособие для вузов.- Москва.: Высшая школа, 1982. 224 с.: ил.

3 Матсон Э.А. Крыжановский Д.В. Справочное пособие по конструированию микросхем. –Мн.: Высшая школа, 1983. –271 с.: ил.

4 Коледов Л.А. Конструирование и технология микросхем. курсовое проектирование: Учебное пособие для вузов.- Москва.: Высшая школа, 1984. –231с.: ил.