#### Содержание

|  |  |
| --- | --- |
|  | Стр. |
| 1 Принцип действия полевого транзистора |  |
| 2 Вольт-фарадная характеристика МОП-структуры |  |
| 3 Расчет стоковых и стокозатворных характеристик |  |
| 4 Определение напряжения насыщения и напряжения отсечки |  |
| 5 Расчет крутизны стокозатворной характеристики и проводимости канала |  |
| 6 Максимальная рабочая частота транзистора |  |

**1 Принцип действия транзистора**

В отсутствии смещений (UЗ =0, UС =0) приповерхностный слой полупроводника обычно обогащен дырками из-за наличия ловушек на границе кремний – оксид кремния и наличия положительных ионов в пленке диэлектрика. Соответственно энергетические зоны искривлены вниз, и начальный поверхностный потенциал положительный. По мере роста положительного напряжения на затворе дырки отталкиваются от поверхности. При этом энергетические зоны сначала выпрямляются, а затем искривляются вниз, т.е. поверхностный потенциал делается отрицательным.

Существует некоторое пороговое напряжение , по превышении которого энергетические зоны искривляются настолько сильно, что в близи поверхностной области образуется инверсный электрический сой, именно этот слой играет роль индуцированного канала.

1.1 Равновесное состояние



Рисунок 1.1 – Равновесное состояние

Т.к. UЗ =0, то контактная разность потенциалов между металлом и полупроводником равна нулю, то энергетические зоны отображаются прямыми линиями. В таком положении уровень Ферми постоянен при UЗ =0, полупроводник находится в равновесном состоянии, т.е. pn = pi2 и ток между металлом и полупроводником отсутствует.

1.2 Режим обогащения (UЗ >0)

Если UЗ >0, то возникает поле направленное от полупроводника к затвору. Это поле смещает в кремнии основные носители (электроны) по направлению к границе раздела кремний – оксид кремния. В результате на границе возникает обогащенный слой с избыточной концентрацией электронов. Нижняя граница зоны проводимости, собственный уровень и верхняя граница валентной зоны изгибаются вниз.



Рисунок 1.2 – Режим обогащения

1.3 Режим обеднения (UЗ <0)

Если UЗ <0, то возникает электрическое поле направленное от затвора к подложке. Это поле выталкивает электроны с границы раздела Si – SiO2 в глубь кристалла оксида кремния. В непосредственной близости возникает область обедненная электронами.



Рисунок 1.3 – Режим обеднения

1.4 Режим инверсии (UЗ <<0)

При дальнейшем увеличении отрицательного напряжения UЗ , увеличивается поверхностный электрический потенциал US . Данное явление является следствием того что энергетические уровни сильно изгибаются вверх. Характерной особенностью режима инверсии является, то что уровень Ферми и собственный уровень пересикаются.



Рисунок 1.4 – Режим инверсии

1. инверсия;
2. нейтральная.

1.5 Режим сильной инверсии

Концентрация дырок в инверсной области больше либо равна концентрации электронов.

1.6 Режим плоских зон



Рисунок 1.5 – Режим плоских зон

1 - обогащенный слой неосновными носителями при отсутствии смещающих напряжений изгибает уровни вниз.

**2 Вольт-фарадная характеристика МОП-структуры**

Удельная емкость МОП-конденсатора описывается выражением:

  *(2.1)*

где:

  *(2.2)*

  *(2.3)*

- удельная емкость, обусловленная существованием области пространственного заряда.

  *(2.4)*

- емкость обусловленная оксидным слоем.

Эквивалентную схему МОП-структуры можно представить в виде двух последовательно соединенных конденсатора:



Рисунок 2.1 – Эквивалентная схема МОП-структуры

##### Таблица 2.1 – Зависимость емкости от напряжения на затворе

|  |  |
| --- | --- |
| UЗ [B] | С [Ф] |
| 0.010.050.10.20.220.260.30.320.360.40.420.46 | 3.182e-53.182e-53.182e-53.182e-53.182e-53.182e-53.182e-53.182e-53.182e-53.182e-53.182e-53.182e-5 |



Рисунок 2.2 – График зависимости емкости от приложенного напряжения на затворе



Рисунок 2.3 – Отношение С/С0 как функция напряжения, приложенного к затвору

**3 Вольт-амперные характеристики**

3.1 Стоковые характеристики

Формула описывающая вольт-амперную характеристику имеет вид:

 *(3.1)*

где

 *(3.2)*

- пороговое напряжение

 *(3.3)*

 *(3.4)*

- напряжение Ферми



 *(3.5)*

- плотность заряда в обедненной области

Таблица 3.1 – Таблица значений токов и напряжений стоковой характеристики

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UC [B] | UЗ = 9 | UЗ = 10 | UЗ = 11 | UЗ = 12 | UЗ = 13 |
|  |  |  | IC [A] |  |  |
| 012345678910111213141516 | 0.0002.322e-34.334e-36.037e-37.431e-38.515e-39.290e-39.756e-39.913e-39.761e-39.299e-38.528e-37.448e-36.058e-34.359e-32.351e-33.399e-5 | 0.0002.631e-34.952e-36.965e-38.668e-30.0100.0110.0120.0120.0130.0120.0120.0110.0108.689e-36.990e-34.982e-3 | 0.0002.940e-35.571e-37.892e-39.905e-30.0120.0130.0140.0150.0150.0150.0150.0150.0140.0130.0129.930e-3 | 0.0003.249e-36.189e-38.820e-30.0110.0130.0150.0160.0170.0180.0190.0190.0190.0180.0170.0160.015 | 0.0003.559e-36.808e-39.748e-30.0120.0150.0170.0180.0200.0210.0220.0220.0220.0220.0220.0210.020 |



Рисунок 3.1 – График зависимости тока стока от функции напряжения стока при постоянных значениях напряжения на затворе

3.2 Стоко-затворная характеристика



при UC =4B

Таблица 3.2 – Таблица значений токов и напряжений стокозатворной характеристики

|  |  |
| --- | --- |
| UЗ [B] | IC [A] |
| 00.10.20.30.40.50.60.70.80.9 | 3.703e-33.826e-33.950e-34.074e-34.197e-34.321e-34.445e-34.569e-34.692e-34.816e-3 |



Рисунок 3.2 – График зависимости тока стока от напряжении на затворе

**4 Напряжения насыщения и отсечки**

Напряжение отсечки описывается выражением:

 *(4.1)*

Напряжение насыщение описывается формулой:

 *(4.2)*

где:

 *(4.3)*

- толщина обедненного слоя.

Таблица 4.1 – Таблица данных напряжения стока и напряжения насыщения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| UЗ  | UНАС  | UОТ  |
| -0.5-0.4-0.3-0.2-0.100.10.20.30.40.5 | 0.921.592.453.504.7306.147.74119.511.489013.6315.973 | 0.23870.4100.620.89111.21.551.95832.40632.93.44.0 |



Рисунок 4.1 – График зависимости напряжения насыщения от напряжения на затворе



Рисунок 4.2 – График зависимости напряжения отсечки от напряжения на затворе**5 Крутизна стокозатворной характеристики и проводимость канала**

5.1 Крутизна стокозатворной характеристики описывается выражением:

 *(5.1)*

где:

 *(5.2)*



5.2 Проводимость канала:

 *(5.3)*

 

**6 Максимальная рабочая частота транзистора**

Максимальная рабочая частота при определенном напряжении стока описывается формулой:

 *(6.1)*

Таблица 6.1 – Таблица значений частоты при фиксированном напряжении стока

|  |  |
| --- | --- |
| Uc | fmax |
| 012345678910111213 | 0.0008.041e61.608e72.412e73.217e74.021e74.825e75.629e76.433e77.237e78.041e78.846e79.650e71.045e8 |



Рисунок 6.1 – График зависимости частоты транзистора от напряжения на стоке.

**Список использованной литературы**

1 Л. Росадо «ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОЭЛЕКТРОНИКА» М.-«Высшая школа» 1991 – 351 с.: ил.

2 И.П. Степаненко «ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТРАНЗИСТОРОВ И ТРАНЗИСТОРНЫХ СХЕМ», изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1973. 608 с. с ил.