Оглавление

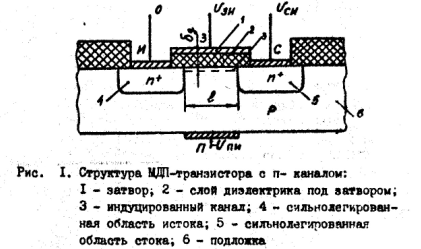
1. Основные сведения

2. Расчет МДП-транзистора с индуцированным каналом

Выводы

## 1. Основные сведения

Упрощенная структура МДП-транзистора с n-каналом, сформированного на подложке p-типа электропроводности, показана на рисунке 1.



Транзистор состоит из МДП-структуры, двух сильнолегированных областей противоположного типа электропроводности по сравнению с электропроводностью подложки и электродов истока и стока. При напряжении на затворе, превышающем пороговое напряжение (), в приповерхностной области полупроводника под затвором образуется индуцированный электрическим полем затвора инверсный слой, соединяющий области истока и стока. Если подано напряжение между стоком и истоком, то по инверсному слою, как по каналу, движутся основные для канала носители заряда, т.е. проходит ток стока.



## 2. Расчет МДП-транзистора с индуцированным каналом

**I.** Выбор длины канала и диэлектрика под затвором транзистора:

а) выбор диэлектрика под затвором:

В качестве диэлектрика для GaAs выбираем Si3N4, т.к. он обладает довольно высокой электрической прочностью, а также образует сравнительно небольшую плотность поверхностных состояний.

б) определение толщины диэлектрика под затвором:

Слой диэлектрика под затвором желательно делать тоньше, чтобы уменьшить пороговое напряжение и повысить крутизну передаточной характеристики. С учётом запаса прочности имеем выражение:



В, => нм



в) выбор длины канала:

Минимальную длину канала длинноканального транзистора можно определить из соотношения:

,



где - глубина залегания p-n-переходов истока и стока, - толщина слоя диэлектрика под затвором, и - толщины p-n-переходов истока и стока, - коэффициент ( мкм-1/3).



Толщину p-n-переходов истока и стока рассчитаем в приближении резкого несимметричного p-n-перехода:

,



где В, , ,



В



мкм



мкм



мкм



Результаты вычислений сведем в таблицу:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , мкм | , см-3 | , см-3 | , см-3 | , В | , мкм | , мкм | , мкм | , мкм |
| 0,16 | 107 | 1016 | 1017 | 1,102 | 1,6 | 0,36 | 0,2 | 4,29 |

Данный выбор концентраций обусловлен тем, что для вырождения полупроводника должны выполняться условия см-3 и см-3. С другой стороны при уменьшении или при увеличении происходит резкое увеличение длины канала (более 5 мкм). Поэтому и были выбраны такие значения концентраций. Глубина перехода выбрана исходя из тех же соображений.



**II.** Выбор удельного сопротивления подложки:

Удельное сопротивление полупроводника определяется концентрацией введенных в него примесей. В нашем случае см-3 => Ом·см. Удельное сопротивление подложки определяет ряд важных параметров



МДП-транзистора (максимальное напряжение между стоком и истоком и пороговое напряжение).

Максимально допустимое напряжение между стоком и истоком определяется минимальным из напряжений: пробивным напряжением стокового перехода или напряжением смыкания областей объемного заряда стокового и истокового переходов.

а) напряжение смыкания стокового и истокового переходов:

Напряжение смыкания стокового и истокового переходов для однородно легированной подложки можно оценить, используя соотношение:

,



где - длина канала, которую принимаем равной минимальной длине . *Пример расчета:*



В - при см-3



Результаты вычислений сведем в таблицу:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| , см-3 | 1014 | 1015 | 1016 | 1017 |
| , В | 32,3 | 70,1 | 152,3 | 330,8 |

б) пробивное напряжение стокового p-n-перехода:

Пробой стокового p-n-перехода имеет лавинный характер и определяется по эмпирическому соотношению:

В –



намного больше, чем напряжение смыкания p-n-переходов.

Скорректируем значение пробивного напряжения, считая искривленные участки на краях маски цилиндрическими, а на углах - сферическими:



Результаты вычислений сведем в таблицу:

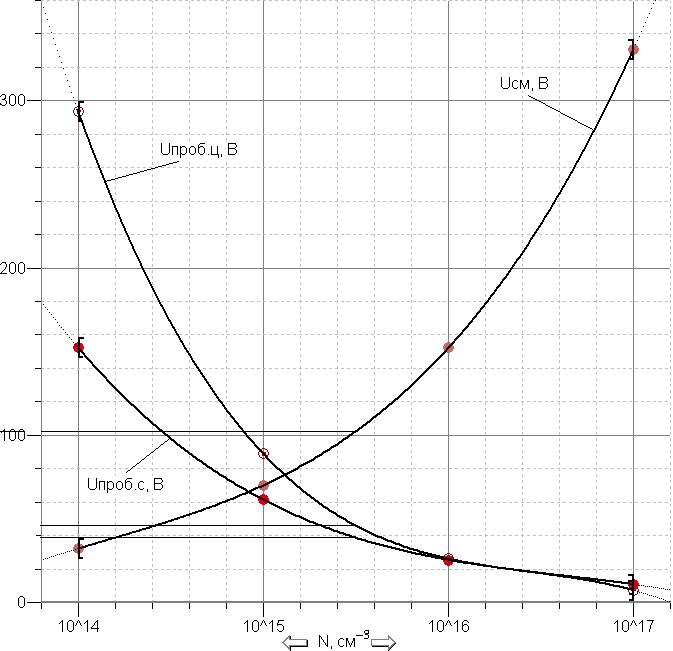
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| , см-3 | 1014 | 1015 | 1016 | 1017 |
| , В | 293,4 | 88,9 | 26,1 | 7,2 |
| , В | 152,2 | 61,4 | 25,3 | 10,8 |

*Пример расчета:*

для см-3: В



В



*Рис.2. Зависимость максимальных напряжений на стоке от концентрации примесей.*

Исходя из найденной ранее концентрации примесей см-3, имеем наименьшее из полученных напряжений В, что удовлетворяет условию задания (В).



**III.** Расчет порогового напряжения:

Пороговое напряжение МДП-транзистора с индуцированным каналом - это такое напряжение на затворе относительно истока, при котором в канале появляется заметный ток стока и выполняется условие начала сильной инверсии, т.е. поверхностная концентрация неосновных носителей заряда в полупроводнике под затвором становится равной концентрации примесей.

Пороговое напряжение, когда исток закорочен с подложкой, можно рассчитать по формуле:



- эффективный удельный поверхностный заряд в диэлектрике, - удельный заряд ионизированных примесей в обедненной области подложки, - удельная емкость слоя диэлектрика единичной площади под затвором, - контактная разность потенциалов между электродом затвора и подложкой, - потенциал, соответствующий положению уровня Ферми в подложке, отсчитываемый от середины запрещенной зоны.



Заряд ионизированных примесей определяется соотношением:

,



где - толщина обедненной области под инверсным слоем при .



Контактная разность потенциалов между электродом затвора и подложкой находится из соотношения:

.



*Пример расчета:*

В - для см-3



Кл/см2



В



В



В качестве металла электрода была выбрана платина (Pt), т.к. она имеет наибольшую работу выхода электронов, что увеличивает пороговое напряжение.

Результаты вычислений сведем в таблицу:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , см-3 | , В | , см-3 | , В | Металл электродов | , эВ | , В |
| 1011 | 0,65 | 0,5·10-8 | 2,08 | Al | 4,1 | 0,88 |
| 1012 | 0,71 | 0,6·10-8 | 2,06 | Ni | 4,5 | 1,28 |
| 1013 | 0,79 | 0,7·10-8 | 2,04 | Cu | 4,4 | 1,18 |
| 1014 | 0,92 | 0,8·10-8 | 2,02 | Ag | 4,3 | 1,08 |
| 1015 | 1,22 | 0,9·10-8 | 2,00 | Au | 4,7 | 1,48 |
| 1016 | 2,08 | 10-8 | 1,98 | Pt | 5,3 | 2,08 |

В результате расчетов было получено значение максимальное значение В при см-3. Для того, чтобы получить В, требуется ввести новый технологический процесс, а именно имплантацию в приповерхностный слой отрицательных ионов акцепторной примеси с зарядом Кл/см-2, которая позволит увеличить пороговое напряжение.



В итоге получаем следующие параметры:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , см-3 | , см-3 | , эВ | , мкм | , Ф/см2 | T, K | , В |
| 107 | 1016 | 1,43 | 0,16 | 5·10-8 | 0 | 0,52 |

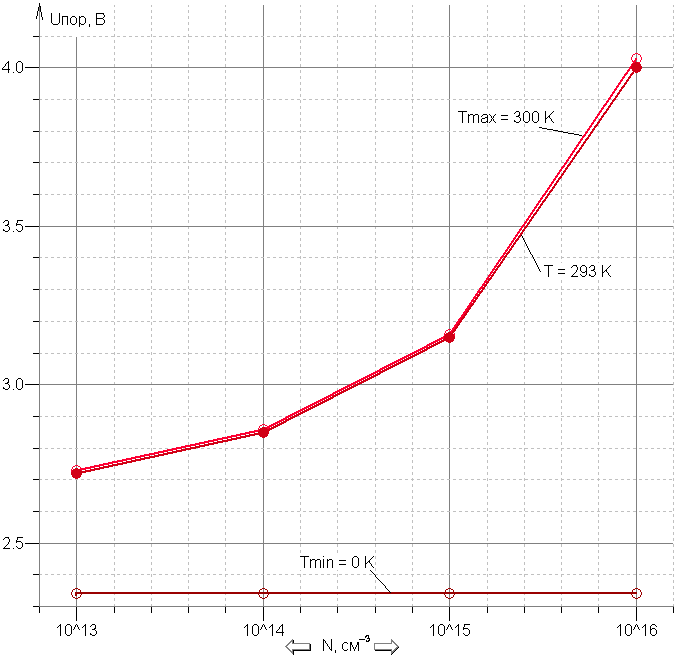
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , эВ | , эВ | , эВ | , В | , Кл/см2 | , Кл/см2 | , В |
| 4,07 | 5,307 | 5,3 | -0,0072 | 5,68·10-8 | 9,6·10-8 | 4 |

Температурная зависимость порогового напряжения:

ККК



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , см-3 | , В | | | , 10-8 Кл/см2 | | | , В | | | , В | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1013 | 0 | 0,35 | 0,36 | 0 | 0,15 | 0,15 | 0,52 | 0,17 | 0,16 | 2,34 | 2,72 | 2,73 |
| 1014 | 0 | 0,41 | 0,42 | 0 | 0,50 | 0,51 | 0,52 | 0,11 | 0,099 | 2,34 | 2,85 | 2,86 |
| 1015 | 0 | 0,46 | 0,48 | 0 | 1,69 | 1,71 | 0,52 | 0,051 | 0,04 | 2,34 | 3,15 | 3,16 |
| 1016 | 0 | 0,52 | 0,53 | 0 | 5,68 | 5,75 | 0,52 | -0,0072 | -0,02 | 2,34 | 4,00 | 4,03 |



*Рис.3. Температурная зависимость порогового напряжения.*

Из приведенных расчетов видно, что концентрация примесей, а также количество вводимых ионов были выбраны правильно, что обеспечило требуемую величину порогового напряжения (4 В).

**IV.** Определение ширины канала:

Ширину канала в первом приближении можно определить из соотношения:

,



где - крутизна характеристики передачи, - заданный ток стока, - подвижность носителей заряда в канале при слабом электрическом поле.



*Пример расчета:*

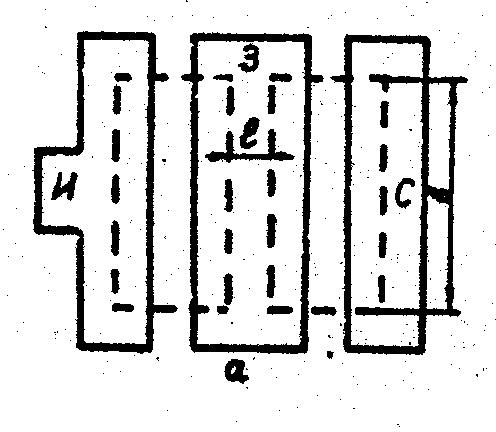
мкм



Результаты вычислений сведем в таблицу:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , мкм | , мА/В | , Кл/см2 | , В | , Ф/см2 | , см2/ (В·с) | , мА | , мкм |
| 4,29 | 1,2 | 5,68·10-8 | 0,52 | 5·10-8 | 700 | 40 | 9,41 |

Т.к. ширина канала по величине сравнима с длиной каналу (), то выбираем топологию транзистора с линейной конфигурацией областей истока, стока и затвора.



**V.** Расчет выходных статических характеристик МДП-транзистора:

Выходные статические характеристики представляют собой зависимости тока стока от напряжения на стоке при постоянных напряжениях на затворе:

,



где - критическая напряженность продольной составляющей электрического поля в канале.



На пологом участке вольт-амперной характеристики, т.е. при , воспользуемся следующей аппроксимацией:



,



где - ток стока при , - длина "перекрытой" части канала вблизи стока.



Расчет произведем по формуле:



где = 0,2 и = 0,6 - подгоночные параметры.



*Пример расчета:*

В



В



мкм



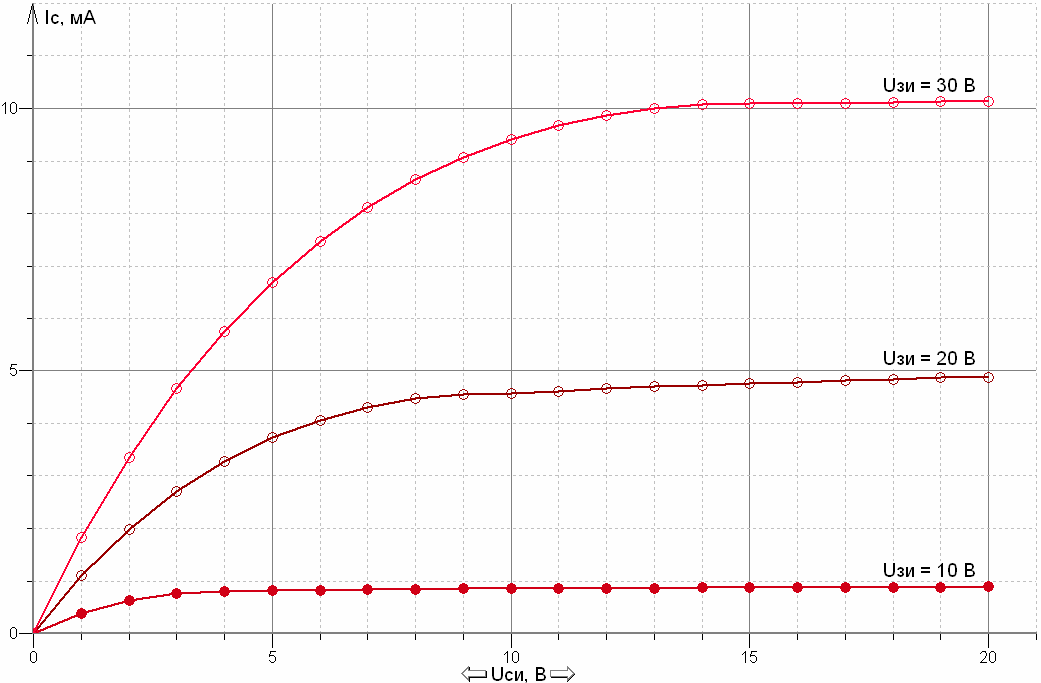
мА



Результаты вычислений сведем в таблицу:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В | , В | , В | , В | , мА | , В/см |
| -0,108 | 20 | 10,35 | 4 | 4,58 | 40000 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В | | 0 | 1 | | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 |
| , мкм | | ---- | ---- | | ---- | | | ---- | | ---- | | ---- | | ---- | | ---- |
| , мА | | 0 | 1,11 | | 1,99 | | | 2,71 | | 3,28 | | 3,73 | | 4,06 | | 4,31 |
| , В | 8 | | | 9 | | 10 | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | | 15 | |
| , мкм | ---- | | | ---- | | ---- | 0,031 | | 0,073 | | 0,108 | | 0,139 | | 0,166 | |
| , мА | 4,47 | | | 4,56 | | 4,58 | 4,61 | | 4,66 | | 4,7 | | 4,73 | | 4,76 | |



*Рис.4. Статические выходные характеристики транзистора.*

Зависимость, построенная на данном графике, довольно точно характеризует практическую закономерность возрастания выходного тока при увеличении напряжения между стоком и истоком. Характерный рост тока происходит до В (В), после чего наступает насыщение, при котором ток стока слабо зависит от напряжения на стоке из-за отсечки канала.



**VI.** Расчет крутизны характеристики передачи:

Если напряжение на стоке меньше напряжения насыщения, то крутизна определяется соотношением:



При расчет крутизны характеристики передачи производим по приближенной формуле:



*Пример расчета:*

мА/В



Результаты вычислений сведем в таблицы:тВ



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 …. 20 |
| , мА/В | 0 | 0,076 | 0,15 | 0,23 | 0,3 |

В

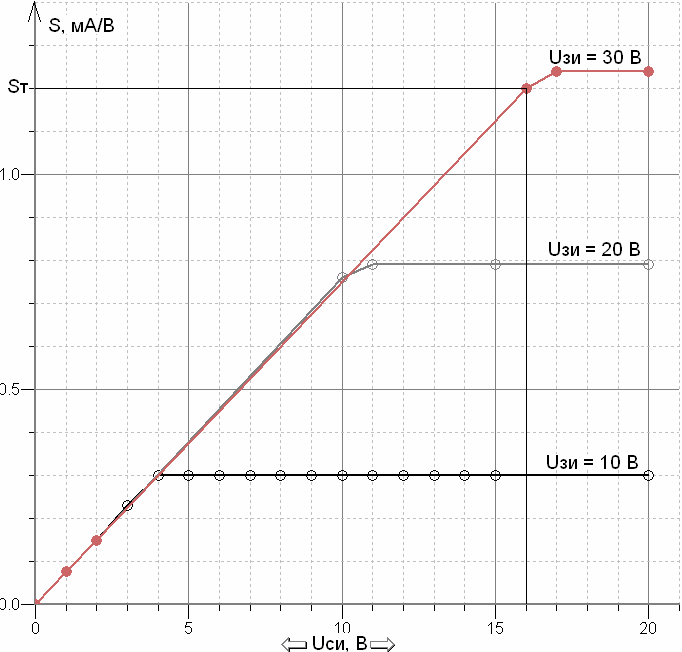


|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В | 0 | 1 | 2 | 10 | 11 …. 20 |
| , мА/В | 0 | 0,076 | 0,15 | 0,76 | 0,79 |

В



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , В | 0 | 1 | 2 | 16 | 17 …. 20 |
| , мА/В | 0 | 0,076 | 0,15 | 1,2 | 1,24 |



*Рис.5. Крутизна характеристики передачи транзистора.*

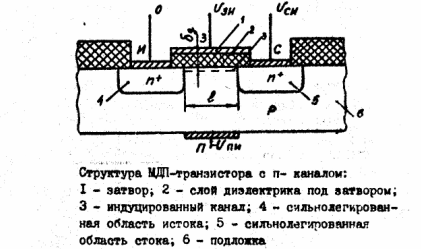
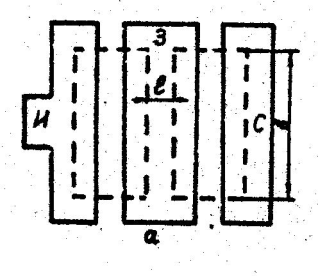
Как видно из графика и расчетов, крутизна характеристики передачи, выбранная для расчета ширины канала (на графике обозначена мА/В), обеспечивается при В и В.



## Выводы

В данной работе был произведен расчет основных параметров МДП-транзистора с индуцированным n-каналом, а также выбор и обоснование использования материалов и технологических методов его изготовления.

итоговые значения основных параметров: толщина диэлектрика под затвором нм, минимальная длина канала (критерий длинноканальности) мкм, концентрация примесей в подложке см-3, максимальное напряжение на стоке В, пороговое напряжение В, ширина канала мкм. По этим параметрам был произведен расчет выходной характеристики транзистора, выбор топологии и построение зависимости крутизны ВАХ от напряжений на стоке и затворе.



*1. Топология транзистора 2. Поперечное сечение транзистора*