

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАНАВОЧНЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ НА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Антонович П.Г., Стрельченко С.В.

Национальный детский технопарк, г. Минск, Республика Беларусь

Новиков П.Э.

В работе проводился анализ структуры биполярного транзистора с изолированным затвором (БИТЗ) с канавками в программном комплексе Silvaco с подробным описанием каждого проводимого этапа создания структуры. Определены независимые факторы, влияющие на различные полученные характеристики, такие как максимальный ток стока, пороговое напряжение, время включения, время выключения. Вычислены по методу отсеивающего эксперимента Плакетта-Бермана факторы, которые оказывали значительное влияние на характеристики БИТЗ.

Силовые канавочные БИТЗ-структуры имеют преимущества на фоне других видов БИТЗ, включая улучшение электропроводности, большую плотность тока, улучшенную устойчивость к коротким замыканиям и перегрузкам. Эти факторы востребованы в машиностроении и других отраслях промышленности, поэтому данные структуры важно совершенствовать [5].

В данной работе проводился анализ канавочной БИТЗ-структуры в программном комплексе Silvaco (рисунок 1). Структура сформирована в модуле технологического моделирования ATHENA, предназначенного для моделирования технологических процессов (ионная имплантация, диффузия, окисление, травление, осаждение) с получением двумерного распределения легирующих примесей. В общей сложности процесс формирования структуры включает в себя 11 этапов, после выполнения которых проведено моделирование выходных, передаточных и динамических электрических характеристик в модуле физического моделирования приборов ATLAS, позволяющего рассчитывать статические, частотные и переходные характеристики полупроводниковых структур [1].

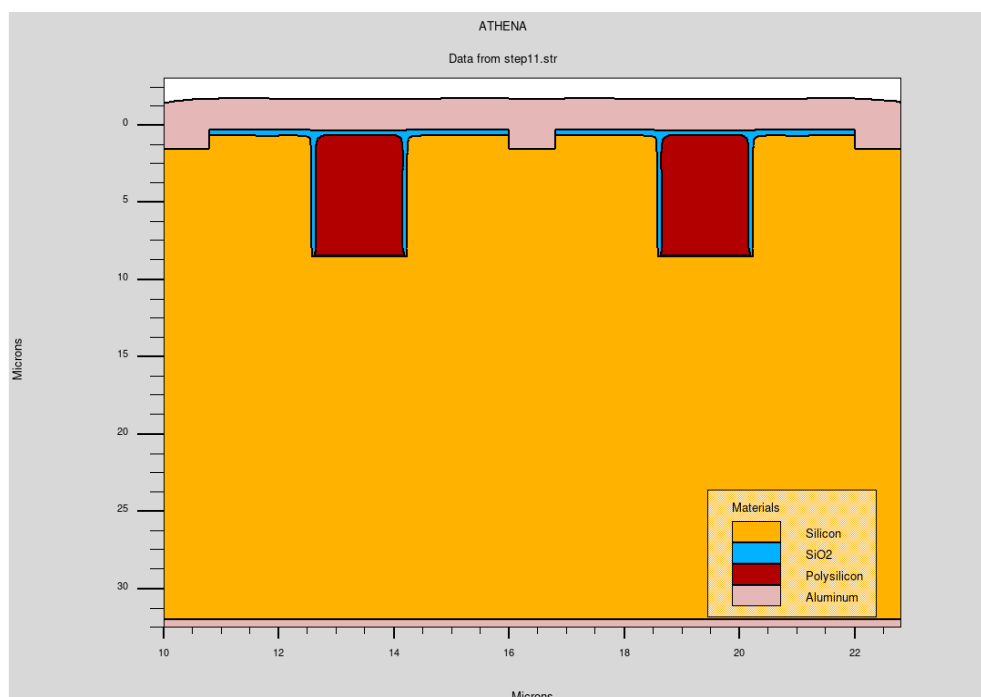


Рисунок 1 – Канавочная БИТЗ-структура

Проведен анализ технологических операций на предмет наличия независимых факторов, влияющих на исследуемые характеристики БИТЗ-структуры. Несмотря на существование большого количества независимых факторов, было установлено, что изменение ряда из них на 10 % и более приводит к утрате работоспособности структуры либо не оказывает существенного влияния на рассматриваемые характеристики. На основании этого, принято решение об их исключении из дальнейшего рассмотрения, в результате чего получено 32 фактора.

Для определения наиболее значимых факторов использован отсеивающий эксперимент Плакетта-Бермана. Составлена матрица Адамара для 35 факторов и 36 экспериментов по следующему принципу: «+» (повышение значения фактора на 10 %) и «-» (значение фактора не изменяется), со сдвигом первой строчки влево в каждой последующей строке, при этом последний эксперимент проводится без изменений факторов (таблица 1). В каждом эксперименте определены рассматриваемые характеристики БТИЗ-структуры [2, 3].

Таблица 1 – Фрагмент реализованной матрицы Адамара

	A	B	C	D	E	F	G	...
1	+	+	+	+	+	-	+	...
2	+	+	+	+	-	+	+	
3	+	+	+	-	+	+	+	
4	+	+	-	+	+	+	+	
5	+	-	+	+	+	+	-	
6	-	+	+	+	+	-	-	
7	+	+	+	+	-	-	+	
8	+	+	+	-	-	+	-	
...	...							

Для комплексной оценки значимости факторов исследуемые характеристики интегрированы в единый показатель k , определяемый как нормированное относительно соответствующих показателей исходной структуры среднее по формуле (1):

$$k = \frac{1}{N} \sum \frac{a}{a_0}, \quad (1)$$

где a – исследуемая характеристика, a_0 – её значение в исходной структуре, N – количество исследуемых характеристик.

Значимость фактора определяется по формуле (2) [2]:

$$a_i = \frac{\sum k(+)-\sum k(-)}{M/4}, \quad (2)$$

где $k(+)$ ($k(-)$) – сумма тех значений k , которым соответствует «+» («-») в матрице Адамара; M – количество строк в ней.

В качестве значимых принимаются факторы, удовлетворяющие условию (3):

$$|a_i| \geq t_{0,05; M-1} S, \quad (3)$$

где $t_{0,05; M-1}$ – значение критерия Стьюдента по уровню 0,05 и выборке объемом M ; S – среднеквадратичное отклонение, рассчитанное для всей выборки k [4].

В результате установлено, что такие факторы как время диффузии в среде влажного кислорода, проводящаяся для того, чтобы изолировать совместный контакт канавок, и время термического окисления в сухом кислороде, необходимое для наращивания толщины подзатворного диэлектрика в канавках, высота и ширина канавки, энергия при имплантации фосфора для формирования p -кармана и имплантации бора для формирования коллектора на обратной стороне структуры удовлетворяют условию (3) и оказывают наибольшее влияние на структуру.

В результате применения отсеивающего эксперимента Плакетта–Бермана выявлены факторы технологических процессов, оказывающие значащее влияние на эксплуатационные характеристики канавочных БТИЗ-структур.

Список использованных источников:

1. ATHENA User's Manual / Santa Clara, CA: Silvaco International, 2007. – 434 с.
2. Планирование экспериментальных исследований и статистическая обработка данных: Основы научных исследований в промышленной теплоэнергетике / В. Г. Казаков, Е. Н. Громова. – СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 35 с.
3. Nwankwo U. N., Agwa O. K. Exopolysaccharide production from *Bacillus safensis* using statistical experimental design / International Journal of Science and Research Archive. – 2024. – Vol. 13, No. 02. – P. 4193-4204.
4. Статистический анализ и оптимизация параметров технологии изготовления биполярного транзистора с изолированным затвором / Баранов В. В., Боровик А. М., Ловшенко И. Ю., Стемпницкий В. Р., Чан Туан Чунг, Ибрагим Шелибак. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2015. – 6 с.
5. Гарипов А.И., Борисов И.Д., Куцева К.В. Биполярные транзисторы с изолированным затвором в электрических машинах / Самара: ПГУТИ, 2023. – 5 с.