

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЛАНАРИЗАЦИИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Студент: **Гладких А.А.**

Группа: **ИУ4-125М**

Научные руководители :

к.т.н., доцент **Макарчук В.В.**, МГТУ им. Н.Э.Баумана,  
к.ф-м.н. **Амирханов А.В.**, НИИСИ РАН



# Общая характеристика

## Цель работы:

Заключалась в разработке модели технологической операции ХМП диоксида кремния и метода минимизация разброса толщины МСД путем оптимизации плотности заполнения топологических слоев СБИС на основе моделирования.

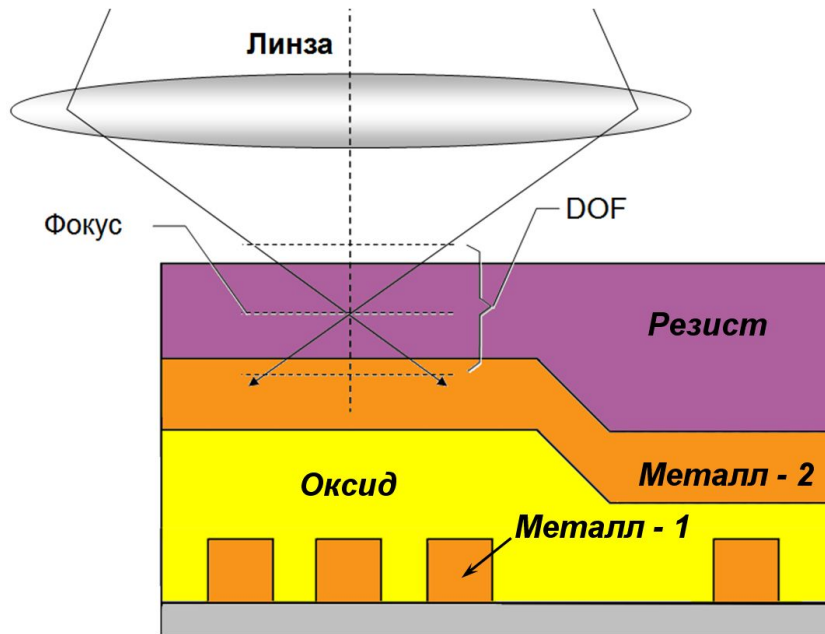
## Решаемые задачи:

1. Проанализировать особенности исследуемой технологической операции ХМП и провести сравнительный анализ ранее разработанных моделей операции ХМП диоксида кремния.
2. Откалибровать модели операции ХМП по экспериментальным данным для установки ХМП «AvantGaard-676» производство фирмы «IPEC-SpeedFam» (США) и полирующей подушки «FX9» производство фирмы «Freudenberg» (США).
3. Провести исследование свойств полирующей подушки «FX9» и разработать полиномиальную модель операции ХМП диоксида кремния.
4. Разработать план эксперимента для получения калибровочных данных полирующей подушки «IC1000/SubaIV» производство фирмы «Rodel Co.» (США) и провести экспериментальное исследование подушки «IC1000/SubaIV», а также откалибровать полиномиальную модель операции ХМП для полирующей подушки «IC1000/SubaIV».
5. Разработать быстрые алгоритмы обработки больших массивов топологической информации представленной в формате GDSII (Graphic Data Stream).
6. Разработать метод оптимизации плотности заполнения слоя СБИС и провести модельное исследование разработанного метода на топологии тестового кристалла СБИС, разрабатываемого в НИИСИ РАН.

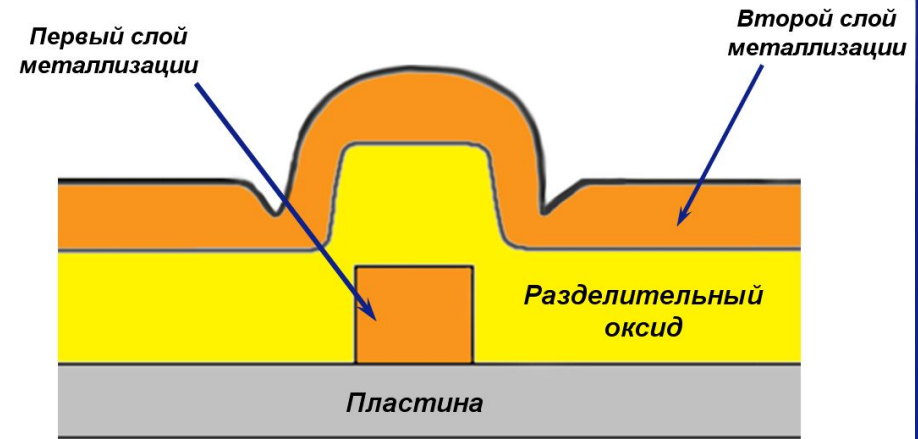


# Проблемы, связанные с возникновением рельефа

Ограничение глубины  
фокусировки  
проекционной системы



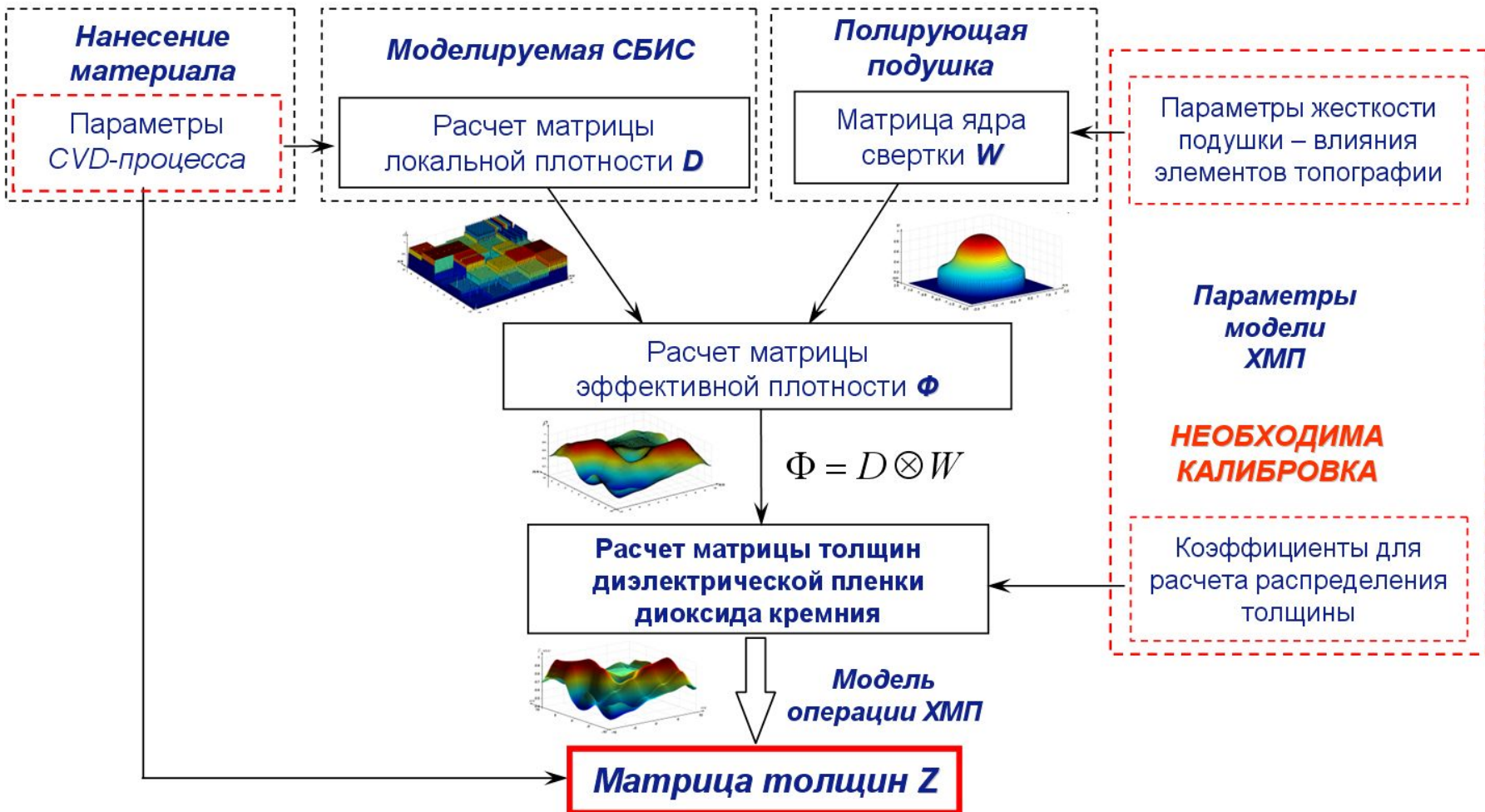
Разрывы проводников  
при нанесении металла  
рельефную поверхность



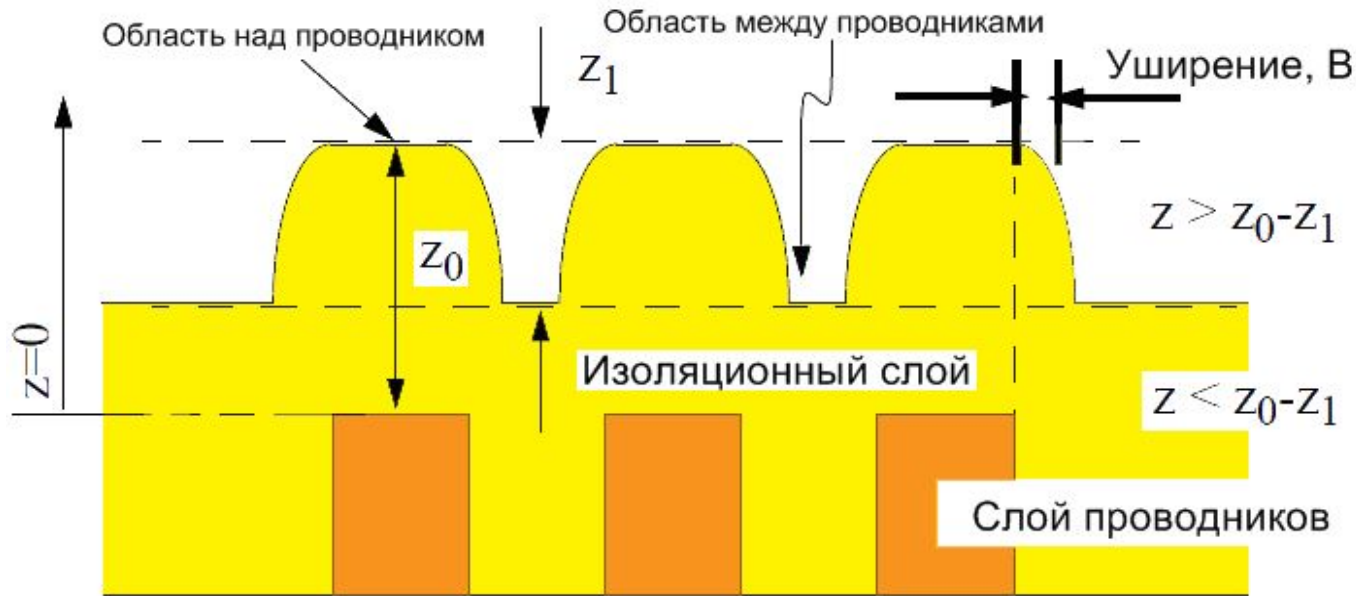
$$DOF = \pm \lambda \cdot K_2 / 2 \cdot (NA)^2 \approx 506 \cdot K_2 \text{ нм}$$



# Алгоритм моделирования процесса ХМП



# Исходная модель ХМП диоксида кремния



Скорость удаления материала:

$$MRR = \frac{dz}{dt} = -\frac{K}{\rho(x, y, z)}$$

где:  $K$  – скорость удаления материала с ровной пластины

После интегрирования  $MRR$ : 
$$z = \begin{cases} z_0 - \frac{Kt}{\rho(x, y)} & Kt \leq \rho(x, y) z_1 \\ z_0 - z_1 - Kt + \rho(x, y) z_1 & Kt > \rho(x, y) z_1 \end{cases}$$

**Эффективная плотность:**

$$\rho(x, y, z) = \begin{cases} \rho(x, y) & z \geq z_0 - z_1 \\ 1 & z < z_0 - z_1 \end{cases}$$



# Разработанная полиномиальная модель ХМП

Поскольку коэффициенты полинома зависят от эффективной плотности, то аппроксимацию  $C_k$  также необходимо проводить полиномами  $M$ -ой степени:

$$z(t, \rho) = C_0(\rho, z_0, z_1) + \sum_{k=1}^N C_k(\rho) \cdot t^k$$
$$f(\rho) = \sum_{k=1}^M a_k \rho^k$$
$$C_k(\rho) = \sum_{k=1}^M a_k \rho^k$$

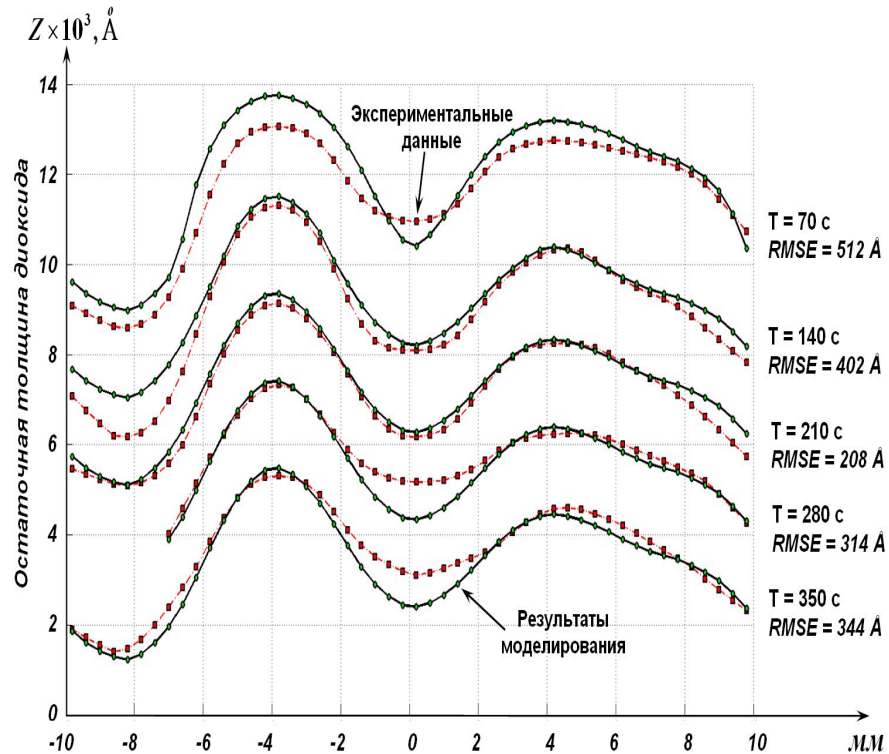
Предложенная полиномиальная модель ХМП:

$$z(t, \rho) = z_0 - z_1 \left( 1 - \sum_{j=1}^M a_j \rho^j \right) + \sum_{k=1}^N \left[ \sum_{j=1}^M a_j \rho^j \right] \cdot t^k$$

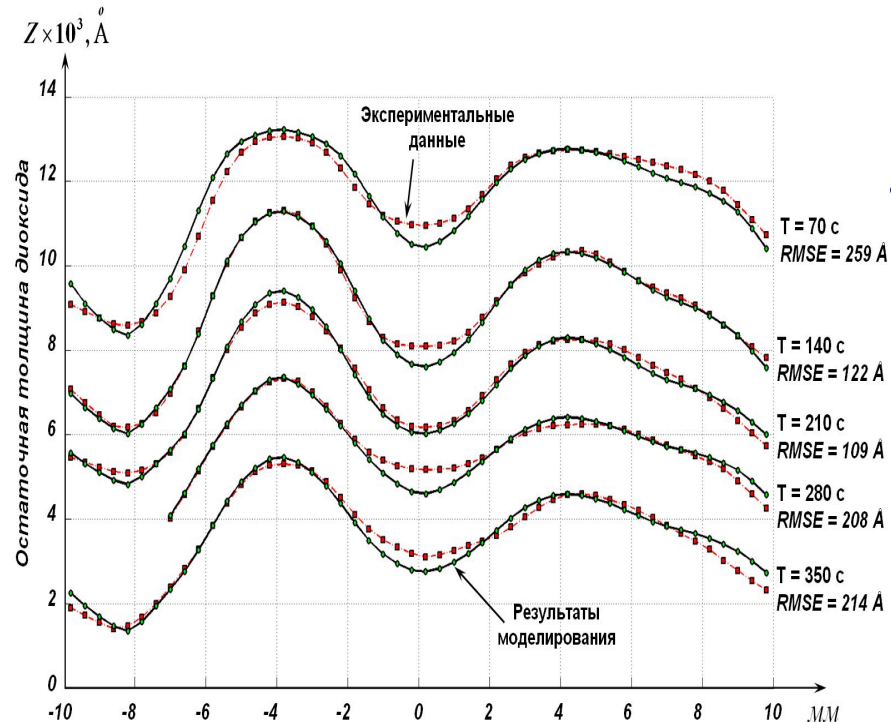




# Результат калибровки полиномиальной модели для FX9



**СКО исходной: 371 Å**



**СКО разработанной: 191**

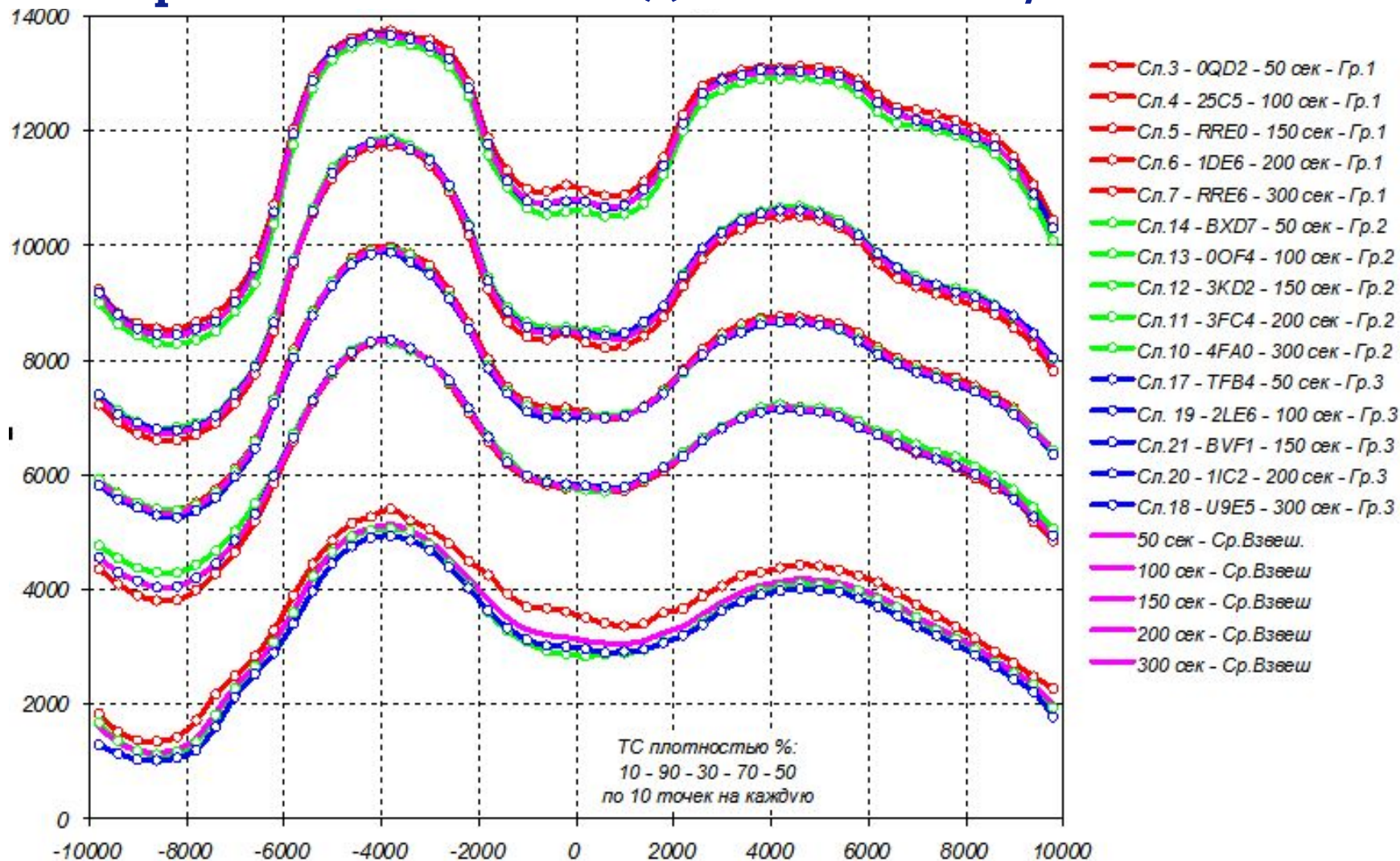
**Å**



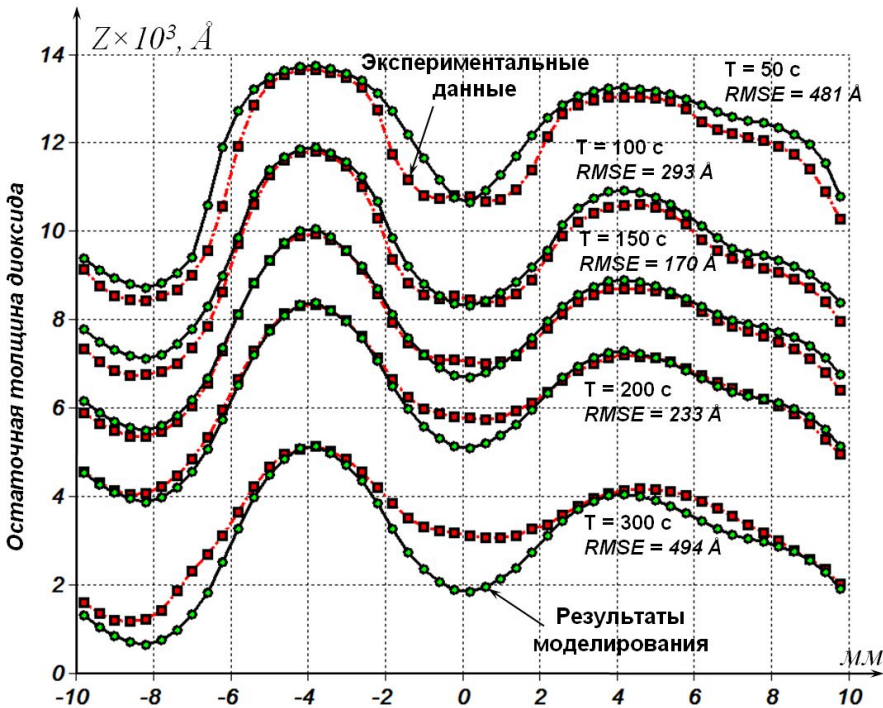




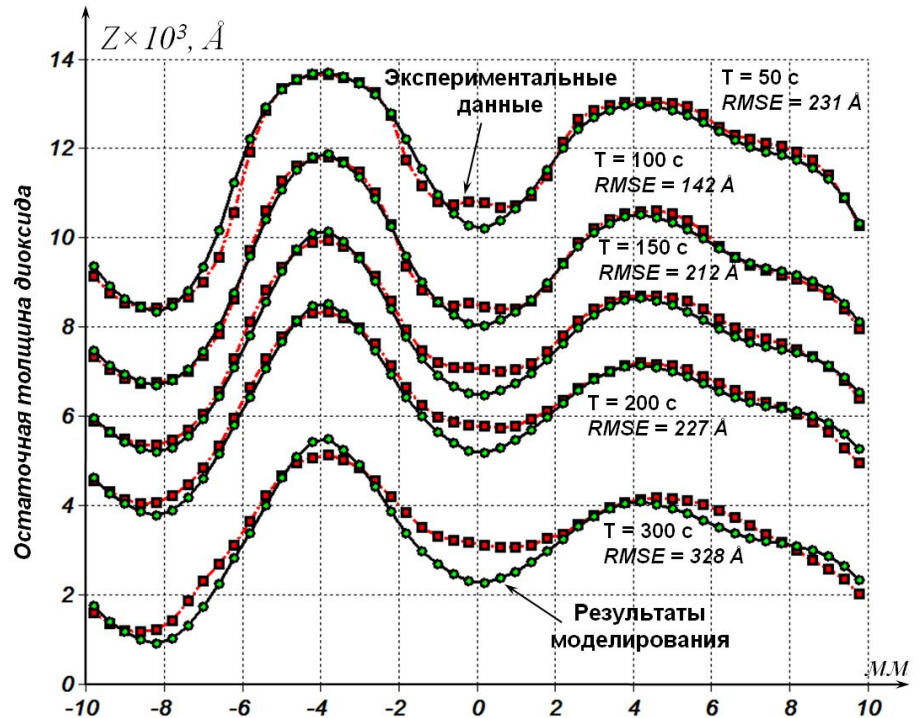
# Измерения полученные в результате экспериментальных исследований IC1000/SubaIV



# Результат калибровки полиномиальной модели для IC1000/SubaIV



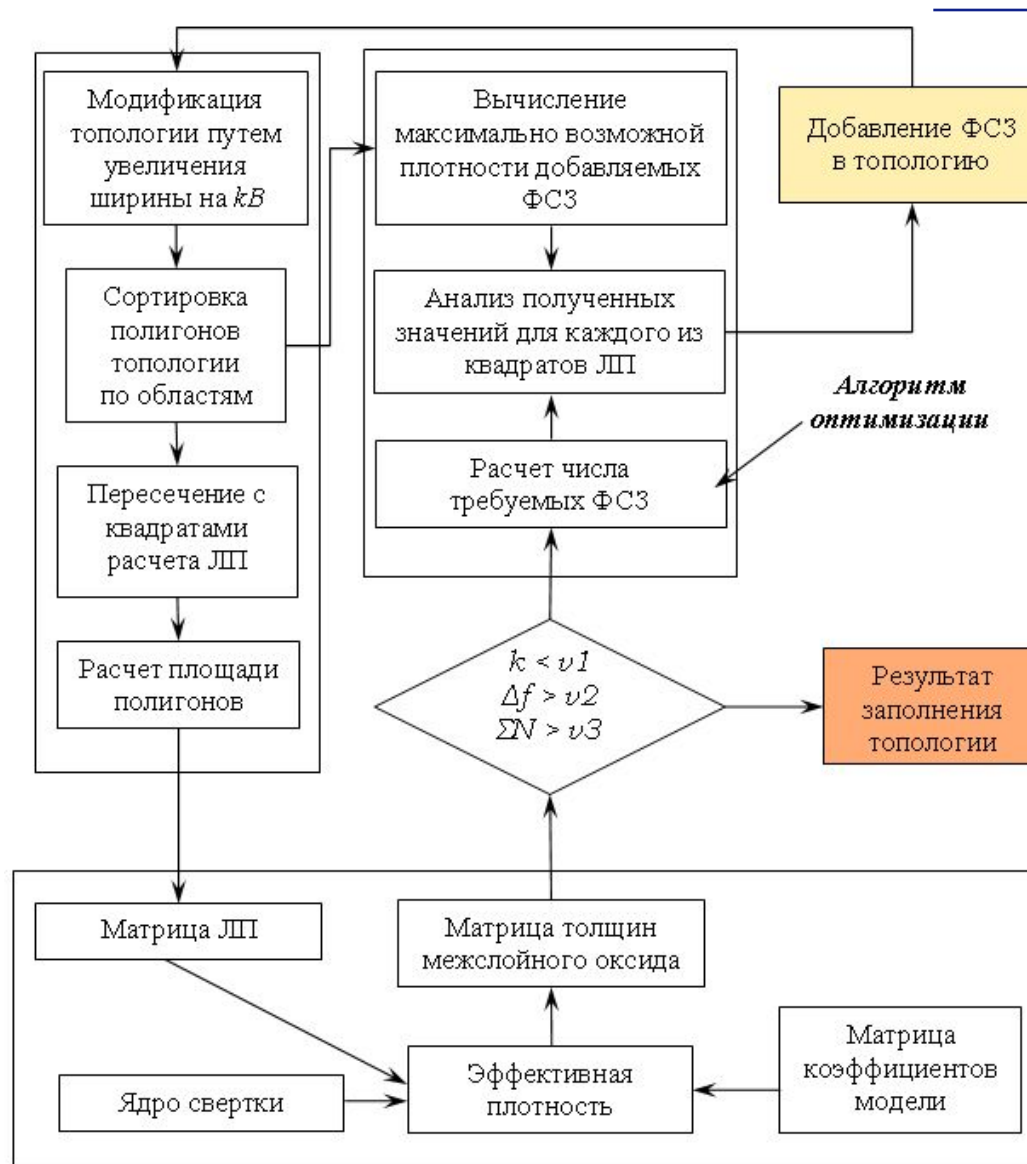
СКО исходной: 345 Å



СКО разработанной: 234 Å

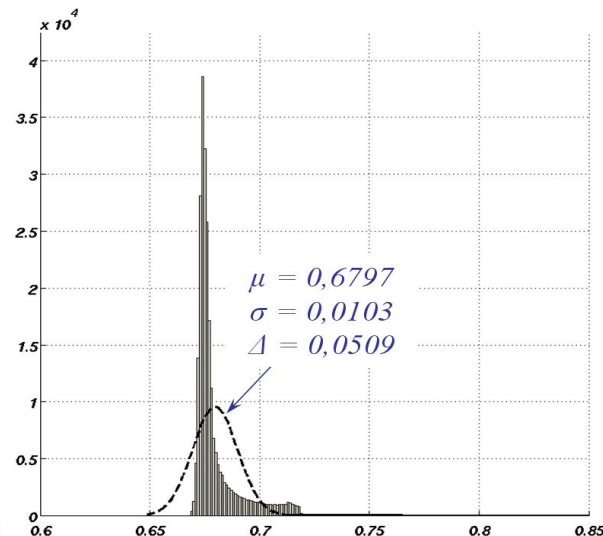
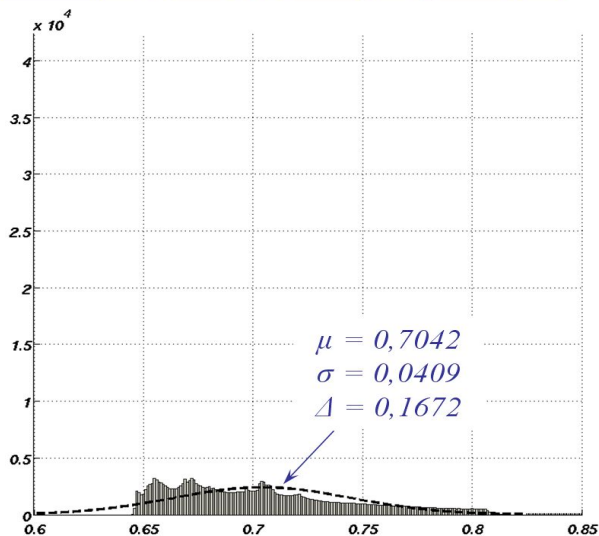
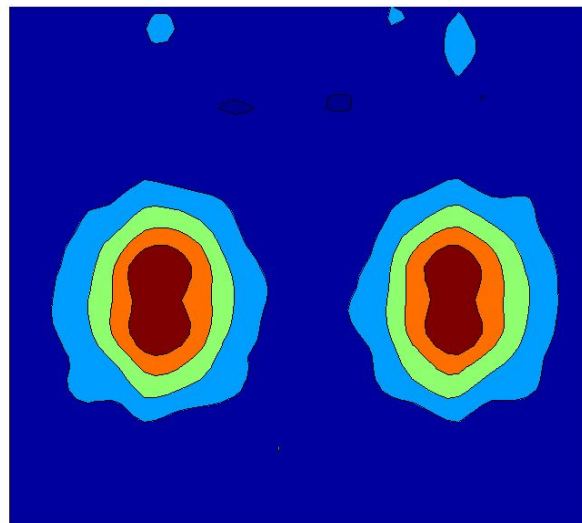
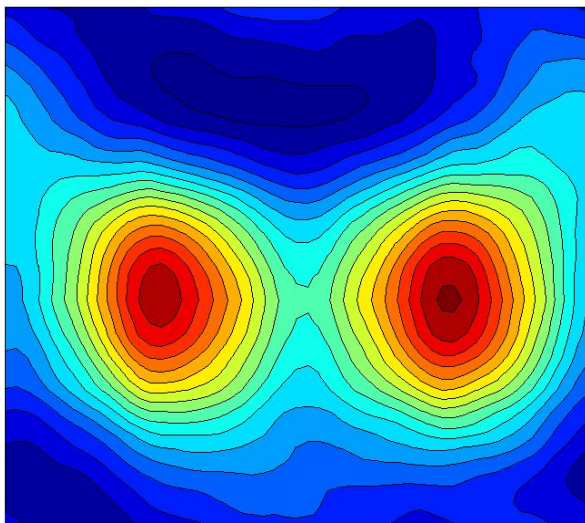


# Алгоритм заполнения топологии





# Модельное исследование результата заполнения



# Результаты работы

1. Проведен анализ моделей осаждения межслойного диэлектрика, распределения давления полирующей подушки и расчета остаточной толщины МСД, позволяющих проводить моделирование по топологии всего кристалла СБИС.
2. Для среды «MATLAB» разработан Toolbox, реализующий моделирование остаточной толщины диоксида с помощью различных моделей.
3. С использованием методов оптимизации проведена калибровка параметров осаждения МСД, распределения давления полирующей подушки и расчета остаточной толщины МСД после операции ХМП.
4. С целью снижения ошибки моделирования был проведен анализ зависимости остаточной толщины МСД от плотности заполнения. В результате выявлены нелинейные зависимости остаточной толщины от эффективной плотности, на основании которых предложена полиномиальная модель остаточной толщины диоксида кремния при ХМП.
5. Предложена методика калибровки параметров модели осаждения диоксида кремния, модели распределения приложенного давления и расчета коэффициентов полиномиальной модели операции ХМП, позволяющая снизить время калибровки математической модели, а также повысить точность моделирования.
6. Проведена калибровка, разработанной полиномиальной модели операции ХМП, в результате которой снижение значения ошибки моделирования по различным ТС снизилось от 20% до 55% по сравнению с ранее разработанными моделями.
7. Предложен алгоритм расчета локальной плотности заполнения топологического слоя субмикронных СБИС и метод оптимизации размещения ФСЗ на основе этого алгоритма. С помощью модельных исследований показаны преимущества предложенного в работе метода MBDF перед RBDF. По результат анализа топологий нескольких кристаллов ОПТ в среднем снижается в 1,5 раза.





# Апробация

1. Гладких А.А. и др. Оптимизация плотности заполнения топологии слоев СБИС, направленная на повышение стабильности технологического процесса химико-механической планаризации. – М.: НИИСИ РАН, Математическое и компьютерное моделирование систем: теоретические и прикладные аспекты, 2009. – стр. 50-55.
2. Гладких А.А. Моделирование процесса химико-механической планаризации диоксида кремния при формировании межслойной изоляции. Информатика и системы управления в XXI веке: Сборник трудов №7 молодых ученых, аспирантов и студентов – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – стр. 54-70. ISBN 978-5-7038-3427-5
3. Гладких А.А. Временная оптимизация модели ХМП с учетом распределения скорости планаризации по кремниевой пластине. – М.: МГТУ им. Баумана, 12-я Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2010», 2010. – стр. 214-223.
4. Гладких А.А. Алгоритм расчета локальной плотности заполнения топологии субмикронных СБИС для оптимального размещения dummy-структур. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, Сборник трудов Третьей Всероссийской Школы-семинара студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению «Наноинженерия», 2010. – стр. 256-267. ISBN 978-5-7038-3453-4

Работа отмечена дипломом  
I-степени на конференции  
«Наукоемкие технологии и  
интеллектуальные системы 2010»



<КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА - 2011>  
<Июнь 2011>  
<Алексей ГЛАДКИХ>



**МГТУ**  
им. Н.Э. Баумана

# БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

