

## **Технологии формирования объёмных микроструктур**

### ***1. Условия задачи***

Произвести компьютерное моделирование технологического процесса микроэлектронной технологии формирования металлического объёмного микроэлемента на кремниевой пластине.

### ***2. Техническое задание***

Моделирование технологического процесса провести дистанционно на предоставленном программном обеспечении. Требования к персональному компьютеру: с браузером Edge/Chrome/Firefox/Opera и эквивалентные с выпуском не ранее 2019 г., 2ГГц, 2 ГБ, ~15МБ диска для кэширования моделей, видекарта или процессор с поддержкой OpenGL.

Модель объёмного элемента должна представлять собой вертикально расположенный на кремниевой пластине металлический цилиндр с высотой 5 мкм и диаметром верхней грани 30 мкм. При этом обеспечить пересечение осью цилиндра плоскости поверхности пластины в точке с координатами  $x_{Ц} = 36$  мкм и  $y_{Ц} = 54$  мкм относительно центра пластины.

Для моделирования технологического процесса использовать предоставленное меню выбора необходимых элементов из библиотеки элементов, опции задания режимов технологических процессов и выбора материалов.

При моделировании окисления поверхности кремниевой пластины сформировать окисел на поверхности кремниевой пластины толщиной не менее 400 нм с использованием атмосферы чистого кислорода. Провести моделирование формирования плёнки алюминия толщиной 5 мкм методом магнетронного напыления. Выбрать вязкость фоторезиста и провести моделирование нанесения фоторезиста толщиной 1,8 мкм методом центрифугирования с последующей сушкой. Сформировать модель маски (фотошаблона). Моделировать визуальное совмещение маски (фотошаблона) с пластиной с погрешностью 2 мкм. С учётом свойств выбранного фоторезиста провести моделирование его экспонирования и проявления. При моделировании процесса травления алюминия обеспечить целостность фоторезиста и боковое подтравливание не более 6,5 мкм. Провести моделирование удаления фоторезиста с использованием органических растворителей.

Необходимо составить технологический маршрут, выбрать материалы, задать режимы выполнения технологических операций, запустить процесс моделирования, получить результат.

### ***3. Регламент исполнения модели***

Запустить модель на исполнение по ссылке <https://dt.miet.ru/photo/> в пошаговом режиме, руководствуясь комментариями на экране. Перед запуском каждой из технологических операций ввести заранее выбранные материалы, рассчитанные параметры и режимы. Наблюдать визуально исполнение технологических операций на мониторе компьютера.

**Московская предпрофессиональная олимпиада школьников**  
**Заключительный этап**  
**Кейсовые задачи**  
**Технологическое направление. Технологический профиль**

---

В случае несоответствия заданным требованиям изменить параметры моделирования, повторить запуск пошагового моделирования. После достижения заданного результата запустить процесс моделирования в непрерывном режиме. Получить и продемонстрировать полученный результат.

***4. Тестовые испытания***

1. Предъявление технологической документации. Топология маски, технологический маршрут, режимы проведения технологических операций. Для каждого шага представляется расчёт, заданный в виде подставляемых численных значений, вспомогательных переменных и коэффициентов, считанные значения по таблицам или графикам.

2. Визуализация результата моделирования на мониторе компьютера. Осмотр модели объёмного элемента металлического цилиндра с высотой 5 мкм и диаметром 30 мкм на кремниевой пластине. Демонстрация измерения высоты и диаметра в режиме моделирования.

3. Визуализация технологических операций в пошаговом режиме моделирования с выводом параметров технологических процессов по требованию.

**Московская предпрофессиональная олимпиада школьников**  
**Заключительный этап**  
**Кейсовые задачи**  
**Технологическое направление. Технологический профиль**

---

**5. Критерии оценивания выполнения задания командой участников олимпиады**

Декомпозиция технологического маршрута	Умение работать с материалами и управлять технологическим режимами	Умение практически реализовать технологию	Умение осуществить контроль качества
<p>0 – технологическая документация не предъявлена, технологический маршрут заведомо ошибочный;  1 – технологическая документация предъявлена, технологический маршрут позволяет добиться цели, но имеет существенные недочёты;  2 – технологическая документация предъявлена, технологический маршрут позволяет добиться цели, имеет незначительные недочёты;  3 – технологическая документация предъявлена, технологический маршрут оптимален для выбранных материалов и режимов технологических операций.</p>	<p>0 – нет понимания принципов создания объёмных микроструктур, нет представления о моделировании техпроцесса;  1 – теоретические представления о принципах создания объёмных микроструктур усвоены;  2 – теоретические представления о принципах создания объёмных микроструктур усвоены, учтены свойства используемых материалов, есть понимание технологических режимов преобразования материалов;  3 – теоретические представления о принципах создания объёмных микроструктур усвоены, учтены свойства используемых материалов, есть представление о влиянии режимов на результат.</p>	<p>0 – технологический маршрут не выполнен (частично или полностью);  1 – весь технологический маршрут выполнен, нет ответов на вопросы по обоснованию выбора материалов и режимов технологических операций;  2 – весь технологический маршрут выполнен, частично предоставлены ответы на вопросы по обоснованию выбора материалов и режимов технологических операций;  3 – весь технологический маршрут выполнен, предоставлены ответы на все вопросы по обоснованию выбора материалов и режимов технологических операций.</p>	<p>0 – контроль качества не осуществлялся;  1 – произведено измерение части критериев, результаты не могут быть интерпретированы;  2 – оценены все параметры объёмных микроструктур, результаты интерпретированы неверно (или вообще не интерпретированы);  3 – оценены все параметры объёмных микроструктур, результаты интерпретированы верно.</p>

**Московская предпрофессиональная олимпиада школьников**  
**Заключительный этап**  
**Кейсовые задачи**  
**Технологическое направление. Технологический профиль**

---

**6. Ссылки на рекомендуемые методические материалы**

1. <http://equip.eltech.com/catalog/5911>
2. <https://ostec-micro.ru/catalog/equipment/termicheskie-protsessy3/vysokotemperaturnaya-pech-dlya-oksidirovaniya-si-i-sic-oxidator-150/>
3. <http://n2.insu.ru/manuals/1495869142.pdf>
4. [https://www.dipaul.ru/upload/iblock/142/dipaul\\_microelectronics\\_catalog\\_2017.pdf](https://www.dipaul.ru/upload/iblock/142/dipaul_microelectronics_catalog_2017.pdf)
5. <https://www.zcvc.ru/cat/2355/86/%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5-%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%8B%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5/-315-detail>
6. <http://www.ipsi.smr.ru/Lab/CKPO/Nanofot/doc/D12APosobie.pdf>
7. <http://www.vacuumel.ru/ru/our-projects.html?start=5>
8. [https://zinref.ru/000\\_uchebniki/02600komputeri/008\\_00\\_00\\_Tekhnologia\\_mikroelektronnoy\\_promyshlennosti/011.htm](https://zinref.ru/000_uchebniki/02600komputeri/008_00_00_Tekhnologia_mikroelektronnoy_promyshlennosti/011.htm)
9. <https://habr.com/ru/post/233729/>
10. [http://frast.ru/fr\\_industrial.html](http://frast.ru/fr_industrial.html)
11. <https://minateh.ru/equipment/technological/spin-coaters-and-developers/>
12. <http://frast.ru/podl.html>
13. <https://lektsii.org/5-19281.html>
14. <https://studfile.net/preview/1199869/page:5/>
15. <https://allrefrs.ru/1-3702.html>
16. [http://window.edu.ru/resource/498/78498/files/miem\\_lapshinov.pdf](http://window.edu.ru/resource/498/78498/files/miem_lapshinov.pdf)
17. <http://frast.ru/rekposfr.html>
18. [https://www.intech-group.ru/directions/semi/seriya\\_200/model\\_200ir/](https://www.intech-group.ru/directions/semi/seriya_200/model_200ir/)
19. [https://www.tech-e.ru/2007\\_4\\_68.php](https://www.tech-e.ru/2007_4_68.php)
20. <https://himya.ru/fotorezisty.html>
21. <https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/70/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BF%D1%80/Lr5.pdf>
22. <https://mash-xxl.info/info/63132/>
23. [https://studbooks.net/2357746/tehnika/osobennosti\\_zhidkostnogo\\_travleniya\\_funktsionalnyh\\_sloyov](https://studbooks.net/2357746/tehnika/osobennosti_zhidkostnogo_travleniya_funktsionalnyh_sloyov)
24. [https://cchgeu.ru/upload/iblock/a2e/21\\_2016-osnovy-tekhnologii-ekb.pdf](https://cchgeu.ru/upload/iblock/a2e/21_2016-osnovy-tekhnologii-ekb.pdf)
25. <http://emirs.miet.ru/oroks-miet/upload/normal1/00cxcwcuct0w34/CHEVYAKOV.pdf>  
<http://base.safework.ru/iloenc?doc&nd=857200059&nh=0&ssect=2>