

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

---

**Создание наноструктурированных электродных материалов с увеличенной каталитической активностью**

**Актуальность:**

Электрохимические методы применяют в различных областях науки и техники – от изготовления батареек и аккумуляторов до высокоэффективных способов исследования и анализа. Но, как и любые другие методы, они имеют недостатки, которые ограничивают их возможности. Одним из бурно развивающихся направлений в современной науке являются нанотехнологии, с помощью которых можно снять некоторые ограничения. В частности, этому способствует разработка и исследование наноструктурированных материалов, которые могут успешно использоваться в качестве электродной части для создания топливных элементов – высокоэффективных химических источников тока, работающих, например, на метаноле; в батареях для гибридных электромобилей; в компактных аналитических устройствах и т.д.

На сегодняшний день ведётся разработка новых сенсоров для качественного и количественного определения соединений в различных объектах методами вольтамперометрического анализа, которые позволяют проводить такие анализы практически без пробоподготовки. Востребованным является, например, количественное определение метанола в объектах энергетической отрасли.

Также на сегодняшний день актуально создание электродных материалов с высокой удельной степенью развитости поверхности для создания компактных и ёмких, но при этом обладающих высокой чувствительностью сенсоров.

Данная кейсовая задача сформирована для заложения технологических основ создания полифункциональных материалов на примере наноструктурированных электродных материалов в умы подрастающего поколения будущих специалистов инженеров-химиков, то есть потенциальных разработчиков и производителей таких покрытий, а также потенциальных потребителей достижений науки о материалах. Помимо этого данная задача развивает способность детей к адекватному выбору сырья и методов для реализации той или иной технологической/научной задачи.

**Цель:** предложить и реализовать технологический маршрут по изготовлению наноструктурированных электродных материалов с увеличенной каталитической активностью для выбранной задачи.

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

---

**Задачи (этапы):**

- 1) Выбрать задачу, для которой будет изготовлен электродный материал, и объяснить причину выбора данной задачи (раскрыть актуальность).
- 2) Выбрать/разработать методику создания электродного материала, объяснить причину выбора данной методики.
- 3) Предложить технологический маршрут изготовления электродного материала.
- 4) Реализовать предложенный технологический маршрут на практике.
- 5) Провести контроль качества полученного материала путем испытания его в модельных условиях выбранной задачи.

**Варианты задач для применения наноструктурированных электродных материалов:**

- 1) Определение глюкозы в крови человека или животного.
- 2) Определения пероксидов в лекарственной и косметической продукции.
- 3) Определение метанола в технологических объектах.
- 4) Производство топливных элементов.

**Варианты методов наноструктурирования:**

- 1) Фотолитография.
- 2) Использование композитных полиэлектролитов.
- 3) Репликация.
- 4) Создание массивов наночастиц.
- 5) Осаждение металла через маску на подложку.

**Варианты методов модификации материала:**

- 1) Включение в состав электролита каталитических наночастиц.
- 2) Электроосаждение каталитических частиц.
- 3) Имобилизация на поверхности комплексов.

**Варианты основного электродного материала:**

- 1) Медь.
- 2) Никель.
- 3) Полиэлектролит 4-(диметиламино)пиридин.

**Варианты модифицирующих агентов:**

- 1) Наночастицы палладия.
- 2) Углеродные наночастицы.

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

- 3) Фуллереновые металлокомплексы.  
 4) Наночастицы платины.

**Критерии эффективности материала:**

- ✓ Максимальная чувствительность или электроэффективность материала.  
 ✓ Максимальная каталитическая активность для данного процесса.

Декомпозиция технологического маршрута	Умение работать с материалами и управлять технологическими режимами	Умение практически реализовать технологию	Умение осуществить контроль качества
<p>0 – технологический маршрут заведомо ошибочный;                      1 – технологический маршрут позволяет добиться цели, но имеет существенные недочёты;                      2 – технологический маршрут позволяет добиться цели, имеет незначительные недочёты;                      3 – технологический маршрут оптимален для выбранного материала</p>	<p>0 – нет понимания принципов создания наноструктурированных материалов и, как следствие, нет представления о решении кейса в целом;                      1 – теоретические представления о принципах создания наноструктурированных материалов усвоены;                      2 – теоретические представления о принципах создания наноструктурированных материалов усвоены, учтены свойства используемых материалов, есть понимание работы используемых приборов и методик;                      3 – теоретические представления о принципах создания наноструктурированных материалов усвоены, учтены свойства используемых материалов, есть понимание работы используемых приборов и методик, есть представление о влиянии режимов на результат</p>	<p>0 – технологический маршрут не выполнен (частично или полностью);                      1 – весь технологический маршрут выполнен, выводы по маршруту не сделаны;                      2 – весь технологический маршрут выполнен, сделаны выводы о правильности маршрута, о его эффективности, недоработках;                      3 – весь технологический маршрут выполнен, сделаны выводы о правильности маршрута, о его эффективности, недоработках, сделаны предложения по улучшению технологического маршрута</p>	<p>0 – контроль качества не осуществляется;                      1 – оценена только часть критериев, результаты не могут быть интерпретированы;                      2 – оценены все критерии наноструктурированных материалов, результаты интерпретированы неверно (или вообще не интерпретированы);                      3 – оценены все критерии наноструктурированных материалов, результаты интерпретированы верно</p>

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

---

**Модификация поверхности различных материалов с целью достижения  
супергидрофобных полифункциональных свойств**

**Актуальность:**

Супергидрофобные материалы как особый случай гидрофобных материалов имеют кардинально отличающиеся свойства, такие как полное водоотталкивание, способность к самоочищению, повышенная коррозионная стойкость, стойкость к биообрастанию, обледенению и т. д.

Внедрение супергидрофобных покрытий в повседневную жизнь и в промышленность позволит существенно снизить затраты на борьбу с воздействием агрессивных факторов среды, а также улучшить качественные характеристики товаров массового потребления и товаров специального назначения.

Существует ряд сложностей, которые не позволяют широко применять супергидрофобные покрытия: недостаточное качество получаемых покрытий из-за низкой научно-промышленной базы и, как следствие, недоверие конечных потребителей к супергидрофобным покрытиям.

Данная кейсовая задача сформирована для заложения технологических основ создания полифункциональных материалов на примере супергидрофобных материалов в умы подрастающего поколения будущих специалистов инженеров-химиков, то есть потенциальных разработчиков и производителей таких покрытий, а также потенциальных потребителей достижений науки о материалах. Помимо этого данная задача развивает способность детей к адекватному выбору сырья и методов для реализации той или иной технологической/научной задачи. Наконец, итогом решения данного кейса будет оценка соответствия полученных материалов ТТХ (в данном случае – критерию супергидрофобности).

**Цель:** предложить и реализовать технологический маршрут по приданию супергидрофобных полифункциональных свойств поверхности выбранного материала.

**Задачи (этапы):**

- 1) Выбрать материал для модификации и объяснить причину выбора данного материала (раскрыть актуальность).
- 2) Выбрать/разработать методику модификации материала, объяснить причину выбора данной методики.
- 3) Предложить технологический маршрут модификации выбранного материала.

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

---

- 4) Реализовать предложенный технологический маршрут на практике.
- 5) Провести контроль качества полученного покрытия, сделать вывод о соответствии критерию отнесения покрытия к супергидрофобным материалам.

**Варианты материалов для модификации:**

- 1) алюминий (сплав АД0 или 1060).
- 2) магний (сплав МА8).
- 3) медь.
- 4) титан.
- 5) цинк.
- 6) никель.
- 7) сталь.
- 8) древесина.
- 9) войлок.
- 10) хб ткань.
- 11) фторопласт.
- 12) полиэтилен.
- 13) пэтф.
- 14) стальная сетка мелкозернистая.
- 15) бумага.

**Варианты гидрофобизаторов для модификации:**

- 1) стеариновая кислота.
  - 2) парафины.
  - 3) фторпарафины.
  - 4) МТА.
  - 5) фтороксисиланы.
- и др.

**Варианты методов текстурирования:**

- 1) горячее прессование.
  - 2) осаждение частиц.
  - 3) химическое травление.
  - 4) электрохимическое анодирование
- и др.

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

**Варианты методов гидрофобизации:**

- 1) гидрофобизация из раствора легколетучего растворителя.
- 2) адсорбция гидрофобизатора из паров.
- 3) нанесение расплава гидрофобизатора.
- 4) механическое «натирание».

**Критерии супергидрофобности:**

- ✓ контактный угол больше  $150^\circ$ .
- ✓ наблюдается скатывание капель, при этом углы скатывания меньше  $15^\circ$ .
- ✓ гетерогенный режим смачивания стабилен, не наблюдается перехода

в гомогенный режим смачивания при долгом контакте жидкости с поверхностью.

<b>Декомпозиция технологического маршрута</b>	<b>Умение работать с материалами и управлять технологическими режимами</b>	<b>Умение практически реализовать технологию</b>	<b>Умение осуществить контроль качества</b>
<p>0 – технологический маршрут заведомо ошибочный;                      1 – технологический маршрут позволяет добиться цели, но имеет существенные недочёты;                      2 – технологический маршрут позволяет добиться цели, имеет незначительные недочёты;                      3 – технологический маршрут оптимален для выбранного материала</p>	<p>0 – нет понимания принципов создания супергидрофобных покрытий и, как следствие, нет представления о решении кейса в целом;                      1 – теоретические представления о принципах создания супергидрофобных покрытий усвоены;                      2 – теоретические представления о принципах создания супергидрофобных покрытий усвоены, учтены свойства используемых материалов, есть понимание работы используемых приборов и методик;                      3 – теоретические представления о принципах создания супергидрофобных покрытий усвоены, учтены свойства используемых материалов, есть понимание работы используемых приборов и методик, есть представление о влиянии режимов на результат</p>	<p>0 – технологический маршрут не выполнен (частично или полностью);                      1 – весь технологический маршрут выполнен, выводы по маршруту не сделаны;                      2 – весь технологический маршрут выполнен, сделаны выводы о правильности маршрута, о его эффективности, недоработках;                      3 – весь технологический маршрут выполнен, сделаны выводы о правильности маршрута, о его эффективности, недоработках, сделаны предложения по улучшению технологического маршрута</p>	<p>0 – контроль качества не осуществлялся;                      1 – оценена только часть критериев, результаты не могут быть интерпретированы;                      2 – оценены все критерии супергидрофобных покрытий, результаты интерпретированы неверно (или вообще не интерпретированы);                      3 – оценены все критерии супергидрофобных покрытий, результаты интерпретированы верно</p>

## **Фотолиз: метод накопления энергии солнечного света**

### ***1. Актуальность***

В настоящее время проблема поиска эффективных альтернативных источников энергии является одной из лидирующих в мировом научном сообществе. Наиболее перспективными и коммерциализируемыми решениями можно считать работы в области водородной энергетики. В частности, доминируют подходы, связанные с разработкой топливных элементов, а также фотолизных систем, совместно решающих проблему получения и использования высокоэффективного водородного топлива.

Реакция разложения воды на водород и кислород под действием солнечного света давно привлекает внимание исследователей, поскольку водород является удобным топливом, вода – доступным и дешёвым реагентом, а Солнце – экологически чистым и бесплатным источником энергии.

Некоторые примеры устройств для разложения воды:

1. Фотостимулированный электролиз. Установка 2-стадийного преобразования солнечной энергии в химическую. Солнечная батарея генерирует электрическую энергию, которая подаётся на стандартные электроды для обеспечения необходимого потенциала для разложения воды.

2. Устройство Фудзисимы и Хонды. В качестве материала фотоанода используется диоксид титана. При освещении фотоанода на нём выделялся кислород, а на катоде водород.

3. Устройство с использованием полупроводникового модифицированного электрода.

### ***2. Условия задачи***

Учащимся предлагается разработать и создать прототип электрохимического устройства с активным элементом из полупроводникового материала (монокристаллического кремния с модифицированной нанопористой поверхностью), трансформирующего солнечную энергию в электрическую (фотоэффект), и опробовать его работоспособность. Также в рамках кейса учащимся предстоит ознакомиться со свойствами полупроводниковых материалов, физикой фотоэффекта, электрохимическими реакциями и альтернативной энергетикой.

### ***3. Техническое задание***

Создание прототипа предполагает активное проведение учащимися всех этапов опытно-конструкторской разработки:

- постановка задачи;
- формирование технического задания;
- разработка концепции, чернового и детального проекта;
- сборка, отладка и испытание прототипа;
- анализ недостатков и отказов;
- написание отчёта и рекомендаций по улучшению конструкции и внедрению.

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

---

Разработанные прототипы исполнительных устройств могут быть предложены для дальнейшего совершенствования и доведения до опытных моделей с целью производства дешёвого водородного топлива.

Учащимся будут выданы готовые фотоэлектроды из нанопористого кремния в форме пластины, фотоэлектрод на основе диоксида титана и солнечная панель. Геометрические размеры электродов будут отличаться. Учащиеся должны:

- 1) освоить способы формирования фотоэлектродов;
- 2) провести моделирование геометрических характеристик фотоэлектрода;
- 3) предложить и спроектировать форму, размер установки;
- 4) рассчитать количество водорода, которое может производить предложенная ими конструкция в час;
- 5) рассчитать объём производства водорода в зависимости от географической широты и климатических условий расположения данного устройства;
- 6) рассчитать коэффициент полезного действия предложенной структуры;
- 7) выбрать наиболее оптимальное из предложенных решений;
- 8) собрать прототип разработанного ранее устройства и проверить его рабочие характеристики.

Доступное для использования оборудование:

1. Штатив лабораторный.
2. Металлические электроды.
3. Соединительные провода-крокодильи.
4. Набор инструментов (отвёртка, пассатижи, ключи).
5. Кварцевая трубка-тройник.
6. Мультиметр электронный.
7. Лампа накаливания.
8. Материал для создания каркаса установки.

Необходима оценка экспериментально проверенной эффективности предложенной конструкции в сравнении с полученными ранее теоретическими расчётами.

**Требования:**

- Демонстрация работоспособности разработанного прототипа устройства.
- Наличие в отчёте записей о постановке задачи, техническом задании и эскиза прототипа.

**Ограничения**

- Реализация решений должна быть рентабельной.
- Мировая конкурентоспособность предлагаемых технологических решений.



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

---

**4. Критерии оценивания выполнения задания**

Декомпозиция технологического маршрута	0 – нет понимания и навыков; 1 – знает основные этапы технологии, но затрудняется обосновать; 2 – может обосновать актуальность, привести примеры подобных устройств, обосновать плюсы и минусы используемой технологии в сравнении с аналогами; 3 – может объяснить физику и химию процесса, обосновать актуальность, привести примеры подобных устройств, обосновать плюсы и минусы используемой технологии в сравнении с аналогами
Умение работать с материалами и управлять технологическими режимами	0 – нет понимания и навыков; 1 – имеет поверхностные знания о материалах и их свойствах; 2 – знает свойства полупроводниковых материалов, различия между полупроводниками, металлами и диэлектриками. Понимает, что такое фотоэффект; 3 – знает свойства полупроводниковых материалов, различия между полупроводниками, металлами и диэлектриками. Понимает, что такое фотоэффект. Может перечислить критерии выбора материала и привести примеры реальных материалов и структур
Умение практически реализовывать технологию	0 – нет понимания и навыков; 1 – имеет представление о том, как должна выглядеть установка, из каких частей она состоит, как она теоретически должна быть собрана в единую систему; 2 – умеет моделировать, конструировать. Может создать эскиз; 3 – умеет моделировать, конструировать, паять, может сам изготовить прототип
Умение осуществлять контроль качества	0 – нет понимания и навыков; 1 – умеет рассчитывать теоретический КПД; 2 – умеет измерять КПД установки, рассчитывать теоретический КПД; 3 – умеет измерять КПД установки, рассчитывать теоретический КПД. Умеет рассчитывать производительность установки

## **Разработка технологии изготовления литого художественного изделия**

### ***1. Актуальность***

Художественные отливки широко распространены во всём мире. Наиболее известные работы знаменитых художников украшают улицы и скверы наших городов, а особо ценные изделия выставляются в лучших музеях мира. Однако художественные отливки являются предметом не только художественной мысли автора, но и произведением инженерного искусства. Ярким примером этого является памятник Петру I (Этьен Фальконе, 1782 г.), расположенный на Сенатской площади в Санкт-Петербурге. Особенностью скульптуры является то, что многотонная бронзовая конструкция держится всего на трёх точках опоры: два копыта и извивающийся хвост змеи.

Памятник Петру I был отлит из бронзы в 1782 г. по традиционному способу – литьё формы из песчано-глинистой смеси. Однако в настоящее время, с появлением современных технологий и новых материалов существенно изменились и методы изготовления художественных отливок. Это позволяет не только повысить качество поверхности художественных изделий, но и значительно упростить и ускорить процесс их изготовления. Учащимся предлагается самостоятельно разработать и реализовать технологию изготовления художественных отливок с применением современных цифровых технологий и новых материалов. В рамках кейса учащиеся смогут познакомиться с различными материалами, которые применяются при изготовлении художественных отливок, их свойствами и способами обработки.

### ***2. Условия задачи***

Целью кейса является разработка технологического процесса изготовления литого художественного изделия, от создания эскиза или 3D-модели до получения готового изделия после операций финишной обработки. Разработка технологии – это сложный, но интересный процесс. Высокая степень вариативности методов выполнения одной и той же технологической операции требует активного участия учащихся на всех этапах разработки, а обсуждение и выявление наиболее подходящего пути изготовления отливки позволяет проявить свой творческий потенциал.

Учащиеся смогут освоить различные способы изготовления отливок, их особенности, области применения, преимущества и недостатки, научиться рассчитывать необходимое количество материалов для приготовления сплава заданного состава, а

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

---

также освоят различные методы обработки литых изделий и познакомятся с видами дефектов, причинами возникновения и вариантами их устранения.

**3. Техническое задание**

- 1) оценить различные способы литья, выявить их преимущества и недостатки;
- 2) оценить различные сплавы и определить особенности их применения в художественном литье;
- 3) разработать модель собственного художественного изделия и предложить технологию его изготовления;
- 4) описать процесс реализации предложенной технологии изготовления отливки с обоснованием выбора материалов литейной формы и способа её изготовления, состава сплава и технологии плавки и литья, а также финишной обработки;
- 5) проанализировать дефекты полученного изделия, определить причины их образования и предложить рекомендации по их устранению и улучшению технологии.

**Требования:**

1. Демонстрация готового художественного изделия.
2. Наличие в отчёте обоснования выбора технологических операций и процесса их реализации.

**Ограничения:**

1. Предложенная технология должна быть пригодной к реализации.

**4. Критерии оценивания выполнения задания**

Декомпозиция технологического маршрута	0 – обучающийся не может выделить части технологического процесса изготовления художественного изделия и не понимает назначения отдельных операций по своей технологии; 1 – обучающийся может разбить технологический процесс изготовления художественной отливки на этапы, но не понимает назначения отдельных операций по своей технологии; 2 – обучающийся может разбить технологический процесс изготовления художественной отливки на отдельные этапы и понимает назначение каждого этапа; 3 – обучающийся может разбить технологический процесс изготовления художественной отливки на отдельные этапы и понимает назначение каждого этапа, а также может обосновать выбор отдельных этапов своей технологии
--	---

Московская предпрофессиональная олимпиада школьников

Заключительный этап

Кейсовые задачи

Технологическое направление. Технологический профиль

<p>Умение работать с материалами и управлять технологическими режимами</p>	<p>0 – обучающийся не владеет методикой выбора материала для художественного изделия, его особенностями и методами влияния на технологические свойства этого материала; 1 – обучающийся владеет методикой выбора материала для художественного изделия, но не может сформулировать его особенности и методы влияния на технологические свойства этого материала; 2 – обучающийся владеет методикой выбора материала для художественного изделия, может сформулировать его особенности и методы влияния на технологические свойства этого материала; 3 – обучающийся владеет методикой выбора материала для художественного изделия, может сформулировать его особенности и методы влияния на технологические свойства этого материала, а также может обосновать выбор конкретного материала для изготовления своего изделия</p>
<p>Умение практически реализовывать технологию</p>	<p>0 – обучающемуся не удалось на практике реализовать разработанную технологию (изделие отсутствует); 1 – обучающемуся удалось частично реализовать разработанную технологию (изделие выполнено не полностью либо имеет невосполнимый брак); 2 – обучающемуся удалось реализовать разработанную технологию, но изделие не имеет финального вида (изделие выполнено, но не произведена должная финишная обработка или отсутствует защитно-декоративное покрытие (если оно предусмотрено технологией)); 3 – обучающемуся удалось реализовать разработанную технологию, изделие имеет законченный вид</p>
<p>Умение осуществлять контроль качества</p>	<p>0 – обучающийся не понимает, по каким критериям производится оценка качества полученного изделия, не может оценить качество полученного художественного изделия (если изделие получить не удалось, то предоставляется демонстрационный образец); 1 – обучающийся понимает, по каким критериям производится оценка качества полученного изделия, но не может оценить качество полученного художественного изделия (если собственного изделия получить не удалось, оценку просят произвести на демонстрационном образце); 2 – обучающийся понимает, по каким критериям производится оценка качества полученного изделия, и может оценить качество полученного художественного изделия (если собственного изделия получить не удалось, оценку просят произвести на демонстрационном образце); 3 – обучающийся понимает, по каким критериям</p>

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

---

	<p>производится оценка качества полученного изделия, и может оценить качество полученного художественного изделия, а также предложить возможные варианты по улучшению качества художественного изделия (если собственного изделия получить не удалось, оценку просят произвести на демонстрационном образце)</p>
--	--

## Исследование устройств из полупроводниковых материалов в экстремальных условиях эксплуатации

### *1. Условия задачи*

Задача состоит в разработке измерительного комплекса, позволяющего получать ВАХ подключаемого прибора (диода, биполярного/МОП транзистора) в рабочем диапазоне  $\pm 10$  В при нахождении прибора в сложных условиях эксплуатации (нагрев до температур 300 °С, охлаждение до -150 °С). Необходимо разработать прототип схемы источника питания полупроводникового устройства, схемы измерения тока (коллектора и базы), измерительного стенда. Макет собирается на основе общедоступных микроконтроллеров Arduino Uno/Nano/Mega и их аналогов. Проверить работоспособность схем с использованием любого доступного САПР для проектирования электронных устройств. В среде National Instruments LabView 2019 SP1 подготовить программу для сбора данных с транзистора и отображения запрашиваемых данных. Провести измерения на двух различных полупроводниковых устройствах, сделать вывод о зависимости основных параметров от температуры внешней среды. Написать дополнение к программе по определению температуры прибора в момент работы по анализу ВАХ.

### *2. Задачи (этапы)*

1. Изучить технологический маршрут изготовления выбранного объекта для исследований (диод (диод Ганна, диод Шоттки, фотодиод, лавинный диод и т.д.), транзистор (полевой, биполярный, КМОП, фототранзистор и т.д.)). Объяснить влияние каждого шага технологического маршрута на точность итоговых параметров устройства и на результаты измерения. Объяснить причину выбора данного объекта (раскрыть области применения).

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

---

2. Изучить принципы работы полупроводниковых устройств. Описать причину влияния тех или иных внешних факторов (температура, электромагнитное излучение, радиация) на работу устройства.
3. Разработать схему измерительной установки в САПР. Показывается схема, объясняется и демонстрируется принцип ее функционирования. Проверяются запрашиваемые параметры схемы.
4. Продемонстрировать разработанный макет измерительного стенда. Демонстрируется сборка макета стенда, принципы сборки (пайка, беспаячный монтаж, наличие/отсутствие корпуса изделия, удобство подключения исследуемых приборов). Проверяется работоспособность макета.
5. Продемонстрировать программу измерений и обработки данных. Показывается интерфейс программы, исходный код. Объясняется принцип работы программы. Проверяется работоспособность написанной программы.
6. Измерить параметры транзисторов. К макету поочередно подключаются исследуемые транзисторы, измеряются параметры приборов в нормальных условиях, в условиях повышенных и пониженных температур. Демонстрируется корректность определения параметров в программе.

### ***3. Критерии оценки выполнения задания***

Декомпозиция технологического маршрута	0 – описание технологического маршрута заведомо ошибочно; 1 – описанный технологический маршрут позволяет добиться цели, но имеет существенные недочёты; 2 – описанный технологический маршрут позволяет добиться цели, имеет незначительные недочёты; 3 – технологический маршрут оптимален для выбранного объекта
Умение работать с материалами и управлять технологическими режимами	0 – нет понимания принципов работы полупроводниковых устройств; 1 – теоретические представления работы полупроводниковых устройств усвоены частично; 2 – теоретические представления работы полупроводниковых устройств усвоены; 3 – теоретические представления работы полупроводниковых устройств усвоены. Есть понимание влияния внешних факторов на параметры устройства
Умение практически реализовать технологию	0 – измерительная установка не собрана (не функционирует); 1 – измерительная установка работает. Измерения проведены с низкой точностью; 2 – измерительная установка работает. Измерения проведены с высокой точностью; 3 – измерительная установка работает. Измерения проведены с высокой точностью. Формат представления данных измерения корректный и

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

---

	информативный;
Умение осуществить контроль качества	0 – контроль качества не осуществлялся 1 – произведено измерение части критериев, результаты не могут быть интерпретированы 2 – оценены все параметры полупроводниковых устройств, результаты интерпретированы неверно (или вообще не интерпретированы) 3 – оценены все параметры полупроводниковых устройств, результаты интерпретированы верно

***4. Ссылки на рекомендуемые методические материалы***

1. <https://www.arduino.cc/>
2. <https://www.ni.com/>
3. <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1742.pdf>
4. [http://www.pselab.ru/Books/Lupov/LabVIEW\\_Examples.pdf](http://www.pselab.ru/Books/Lupov/LabVIEW_Examples.pdf)
5. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы, Изд. 9. 2019. 480 с.
6. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004 г. - 488 с.: ил.
7. Аронов В.Л., Федотов Я.А. Испытание и исследование полупроводниковых приборов.
8. <https://cxem.net/beginner/beginner96.php>



## **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, видеокарта 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/osobnosti\\_zhidkostnogo\\_travleniya\\_funktsionalnyh\\_sloyov](https://studbooks.net/2357746/tehnika/osobnosti_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>

## Технологии формирования 3D-микросборок

### 1. Условия задачи

Произвести компьютерное моделирование технологии формирования 3D-микросборок кристаллов процессора и оперативной памяти.

### 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, видеокарта или процессор с поддержкой OpenGL.

На рис.1 представлена 3D-микросборка из двух кристаллов микросхем.

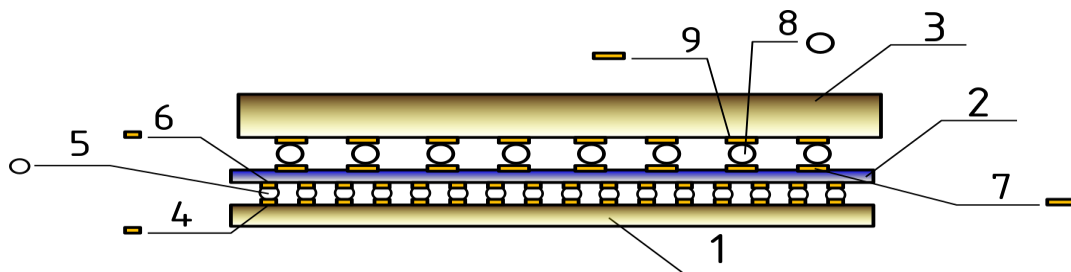
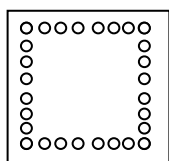


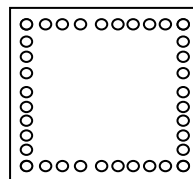
Рис. 1. Модель устройства с трёхмерной интеграцией: 1 – кристалл процессора (нижний), 2 – переходная плата (интерпозер), 3 – кристалл памяти (верхний), 4 – контактные площадки кристалла процессора, 5 – шариковый вывод кристалла процессора диаметром 50 мкм, 6 – контактная площадка интерпозера нижняя, 7 – контактная площадка интерпозера верхняя, 8 – шариковый вывод кристалла памяти диаметром 75 мкм, 9 – контактная площадка кристалла памяти

Модель 3D-микросборки должна представлять собой трёхмерную конструкцию, состоящую из кристалла процессора 1 с габаритными размерами 5 x 5 x 0,75 мм, кристалла памяти 3 с габаритными размерами 3 x 3 x 0,75 мм, соединённых между собой при помощи переходной платы (интерпозер) 2 с размерами 5 x 5 x 0,5 мм.

Кристалл памяти имеет 28 выводов, расположенных по сторонам квадрата с постоянным шагом, кристалл процессора имеет 36 выводов, расположенных по сторонам квадрата с постоянным шагом. Интерпозер 2 имеет верхние контакты со сквозными отверстиями межконтактной разводки, повторяющие по центрам геометрию выводов кристалла памяти и нижние контакты со сквозными отверстиями межконтактной разводки, повторяющие по центрам геометрию выводов кристалла процессора.



Расположение выводов кристалла памяти



Расположение выводов кристалла процессора

Рис.2 Расположение выводов кристаллов памяти и процессора

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

---

Для соединения должны использоваться шариковые выводы 5 и 8, которые устанавливаются на контактных площадках 4 и 9 верхнего и нижнего кристаллов соответственно.

Контактные площадки кристаллов должны располагаться на подложке непосредственно над выводом кристалла. Контактные площадки интерпозера должны располагаться непосредственно над предварительно сформированными контактами со сквозными отверстиями межконтактной разводки интерпозера. При моделировании процесса формирования контактной площадки предусмотреть создание базовой металлической основы с размером и геометрией, обеспечивающими надёжную посадку шариковых выводов, с последующим нанесением металлических сплавов для обеспечения адгезии, смачивания припоем, защиты от окисления в процессе пайки.

Моделирование установки шариковых выводов на подготовленные контактные площадки производить последовательно с рассчитанным шагом по периметру квадратов размещения выводов кристаллов. Моделирование совмещения кристаллов и интерпозера проводить визуально.

При моделировании процесса пайки задаются рассчитанные параметры технологического процесса, которые должны обеспечить надёжный контакт с шариковыми выводами, механическую прочность и, по завершении процесса пайки, зазор между интерпозером и кристаллами не менее 30 мкм.

Моделирование заполнения пространства между кристаллами и интерпозером проводить с использованием выбранного наполнителя рассчитанной вязкости. Качественные параметры состава наполнителя должны обеспечить полное заполнение пространства между шариковыми выводами, отсутствие пустот и механических напряжений в ходе отвердевания.

Провести моделирование рентгеноструктурного анализа по результатам проведения технологического процесса изготовления микросборки.

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

Запустить модель по ссылке <https://dt.miet.ru/bump/> на исполнение 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. 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 заданный результат.

### ***4. Тестовые испытания***

1. Предъявление технической и технологической документации. 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.

# Московская предпрофессиональная олимпиада школьников

## Заключительный этап

### Кейсовые задачи

#### Технологическое направление. Технологический профиль

2. Визуализация результата моделирования на мониторе компьютера. Осмотр модели 3D-микросборки. Демонстрация соответствия полученных параметров микросборки требованиям технического задания.

3. Визуализация моделирования технологических операций в пошаговом режиме с выводом на экран применяемых материалов, заданных параметров и режимов технологических процессов по требованию.

#### **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
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.	0 – нет понимания принципов создания 3D-микросборок, нет представления о моделировании техпроцесса; 1 – теоретические представления о принципах создания 3D-микросборок усвоены; 2 – теоретические представления о принципах создания 3D-микросборок, учтены свойства используемых материалов, есть понимание технологических режимов преобразования материалов; 3 – теоретические представления о принципах создания 3D-микросборок усвоены, учтены свойства используемых материалов, есть представление о влиянии режимов на результат.	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.	0 – контроль качества не осуществлялся; 1 – произведено измерение части критериев, результаты не могут быть интерпретированы; 2 – оценены все параметры 3D-микросборок, результаты интерпретированы неверно (или вообще не интерпретированы); 3 – оценены все параметры 3D-микросборок, результаты интерпретированы верно.

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

---

**6. Ссылки на рекомендуемые методические материалы**

1. <https://habr.com/ru/post/389253/>
2. [https://ostec-materials.ru/tech\\_lib/publications\\_otm/proizvodstvo-mikroskhem-i-poluprovodnikovyx-priborov/formirovanie-mikrovyvodov-pripoya-na-urovne-plastiny.php](https://ostec-materials.ru/tech_lib/publications_otm/proizvodstvo-mikroskhem-i-poluprovodnikovyx-priborov/formirovanie-mikrovyvodov-pripoya-na-urovne-plastiny.php)
3. <http://www.mes-conference.ru/data/year2012/pdf/D164.pdf>
4. [https://www.enas.fraunhofer.de/content/dam/enas/de/documents/Downloads/Chemnitzer%20Seminare/Seminar\\_25\\_SP\\_2017/14\\_ChemSem2016\\_PacTech\\_SolderJet-UBM\\_Hahn\\_web.pdf](https://www.enas.fraunhofer.de/content/dam/enas/de/documents/Downloads/Chemnitzer%20Seminare/Seminar_25_SP_2017/14_ChemSem2016_PacTech_SolderJet-UBM_Hahn_web.pdf)
5. [http://www.maicomquarz.ru/upload/PacTech\\_SB2Systems\\_201512.pdf](http://www.maicomquarz.ru/upload/PacTech_SB2Systems_201512.pdf)
6. <https://liontech.ru/upload/katalog-po-mikroelektronike.pdf>
7. [https://www.iguides.ru/main/other/proshchayte\\_materinskie\\_platy\\_zdravstvuy\\_kremnievaya\\_mezhkomponentaya\\_set/](https://www.iguides.ru/main/other/proshchayte_materinskie_platy_zdravstvuy_kremnievaya_mezhkomponentaya_set/)
8. [https://global-micro.ru/news/problemy\\_montazha\\_beskorpusnykh\\_kristallov/](https://global-micro.ru/news/problemy_montazha_beskorpusnykh_kristallov/)
9. [https://kit-e.ru/articles/device/2007\\_2\\_152.php](https://kit-e.ru/articles/device/2007_2_152.php)
10. <http://engjournal.ru/articles/1291/1291.pdf>
11. <https://moluch.ru/archive/132/37095/>
12. [https://www.milandr.ru/upload/smi/tekhnologicheskie\\_osobnosti\\_sborki\\_vysokoproizvoditelno-go\\_dsp\\_protссора.pdf](https://www.milandr.ru/upload/smi/tekhnologicheskie_osobnosti_sborki_vysokoproizvoditelno-go_dsp_protссора.pdf)
13. [https://ostec-materials.ru/tech\\_lib/publications\\_otm/proizvodstvo-mikroskhem-i-poluprovodnikovyx-priborov/materialy-dlya-zapolneniya-zazora-mezhdu-podlozhkoy-i-kristallom-chast-1-anderfilly-kapillyarnogo-ra.php](https://ostec-materials.ru/tech_lib/publications_otm/proizvodstvo-mikroskhem-i-poluprovodnikovyx-priborov/materialy-dlya-zapolneniya-zazora-mezhdu-podlozhkoy-i-kristallom-chast-1-anderfilly-kapillyarnogo-ra.php)