

**Практическое занятие №5  
по курсу “Физические основы  
микро и наноэлектроники”**

**Тема: Ионно-плазменное  
распыление**

---

- Тонкие пленки – это слои вещества толщиной от долей нанометра до нескольких микрометров, обладающих рядом особенностей атомно-кристаллической структуры, магнитных, электрических и других физических свойств.
- Тонкие пленки, и в особенности – нано-структурированные тонкие пленки, играют очень важную роль в современной технике. Их значение в научно-техническом прогрессе чрезвычайно велико. Они используются в самых разнообразных областях науки и техники, например в качестве защитных покрытий, для преобразования солнечной энергии в электрическую, в сверхпроводниковых приборах, в интегральной и функциональной микро- и наноэлектронике.

## **Что такое тонкие пленки и зачем они нужны?**

---

- Термическое вакуумное напыление (ТВН)
- Ионное (катодное) распыление (ИКР)
- Ионно-плазменное распыление (ИПР)
- Эпитаксия из газовой фазы
- Жидкостная эпитаксия
- Молекулярно-лучевая эпитаксия

# **Технологии получения тонких пленок**

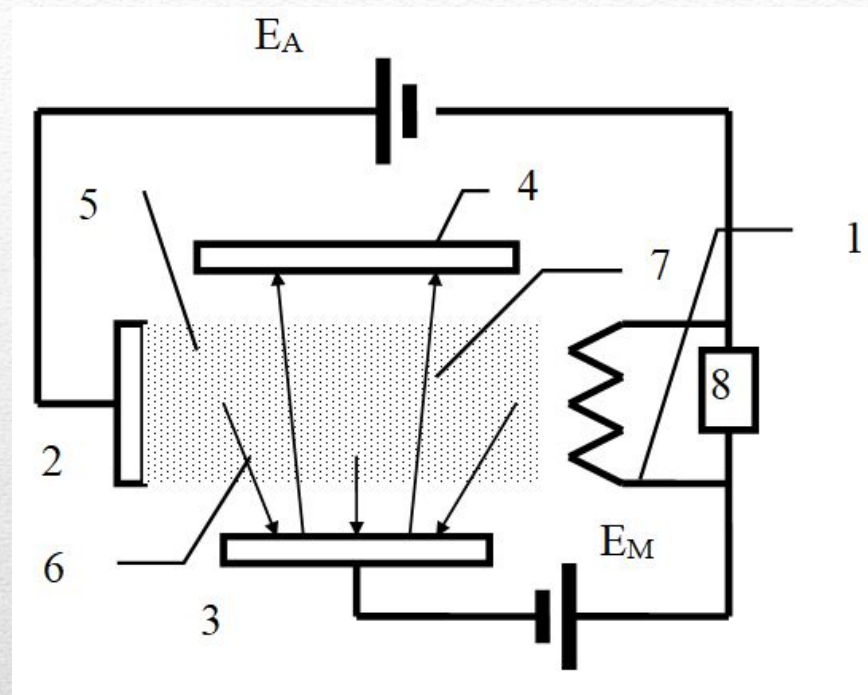
---

- Для уменьшения загрязнений необходимо уменьшать давление рабочего газа в камере, но при этом будет уменьшаться число ионизирующих столкновений электронов с атомами и уменьшится плотность ионов в разряде. Это можно компенсировать введением дополнительного источника электронов и превращения разряда в несамостоятельный. Наиболее простой способ - применение источника термоэлектронной эмиссии, при этом разряд обеспечивается даже в высоком вакууме. В отличие от катодного распыления этот процесс осуществляется в трехэлектродной системе, поэтому иногда его называют триодным распылением

# Обоснование

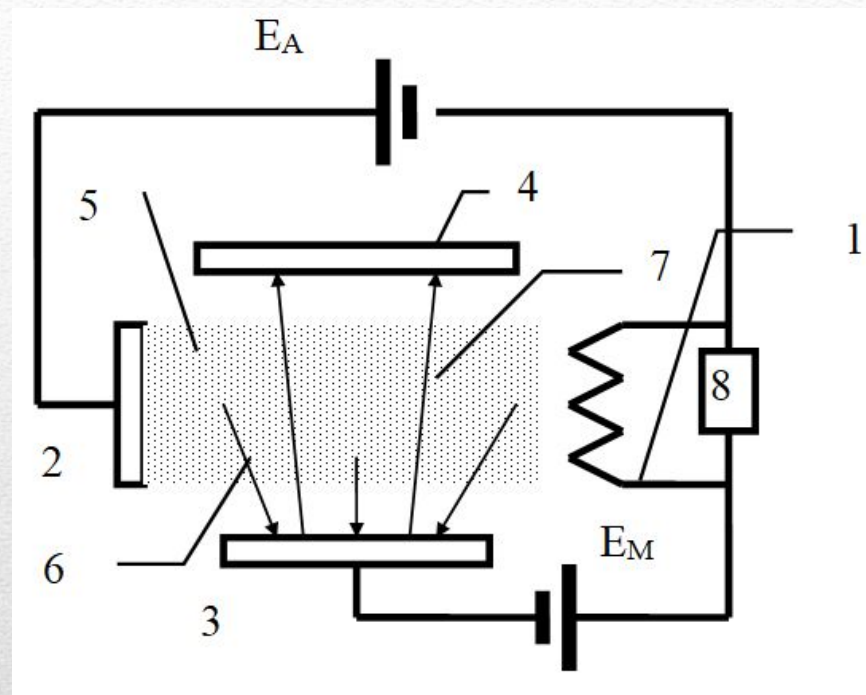
---

Главная особенность его по сравнению с методом ионного распыления состоит в том, что между мишенью (3) с нанесенным на нее слоем распыляемого вещества и подложкой 4 зажигается независимый несамостоятельный газовый разряд (5). Для него характерно наличие стороннего источника электронов в виде накаливаемого катода (1) с независимым источником накального напряжения (8). Разряд характеризуется низкими рабочими напряжениями (десятки вольт) и низким давлением рабочего газа ( $10^{-3}$  -  $10^{-4}$  Торр).



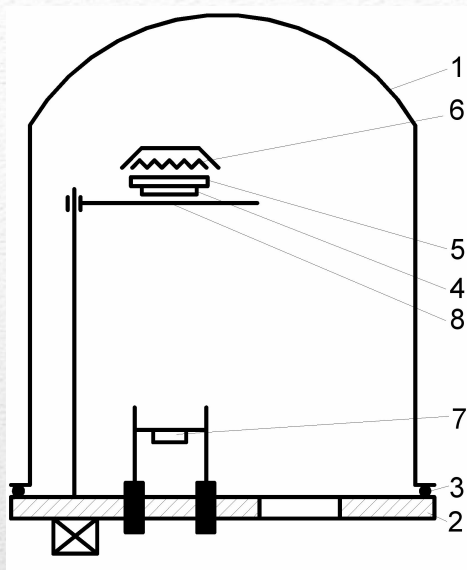
# Установка ионно-плазменного распыления

В процессе напыления на мишень подается отрицательный потенциал (порядка 2 – 3 кВ), который достаточен для возникновения и поддержания **аномального тлеющего разряда**. Положительные ионы плазмы 6 под действием потенциала ударяются о мишень и, проникая вглубь, теряют энергию, смещая атомы, и останавливаются. Если энергия, переданная атому, больше энергии сублимации данного материала, то атом 7 покидает мишень. За счет полученного от иона импульса выбитые атомы пересекают разрядный промежуток и осаждаются на подложку, причем энергия, с которой они подходят к подложке существенно больше, чем при методе ТВН.



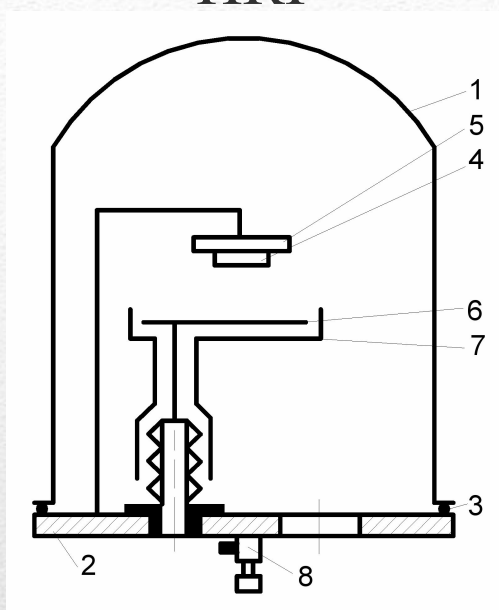
# Установка ионно-плазменного распыления

• ТВН



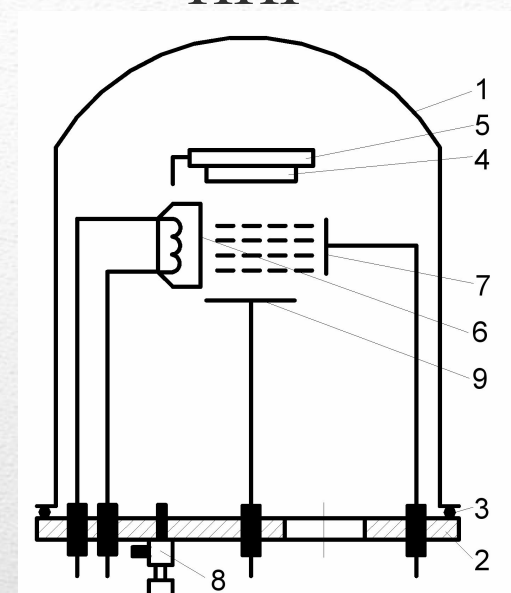
- 1 – колпак;
- 2 - опорная плита;
- 3 - прокладка;
- 4 – подложка;
- 5 – держатель;
- 6 – нагреватель;
- 7 – испаритель;
- 8 – поворотная заслонка.

• ИКР



- 1 – колпак;
- 2 - опорная плита;
- 3 - прокладка;
- 4 – подложка;
- 5 – держатель;
- 6 – **катод**;
- 7 – **экран**;
- 8 – **штуцер**.

• ИПР



- 1 – колпак;
- 2 - опорная плита;
- 3 - прокладка;
- 4 – подложка;
- 5 – держатель;
- 6 – **накаливаемый катод**;
- 7 – **заземленный анод**;
- 8 – **штуцер**;
- 9 – **электрод (мишень)**.

Оборудование для ионно-плазменного напыления состоит из следующих частей:

- цилиндрический корпус;
- водоохлаждающая система;
- вакуумная система;
- электродуговой испаритель;
- основа;
- электрическая часть;
- механизм вращения;
- дверца.

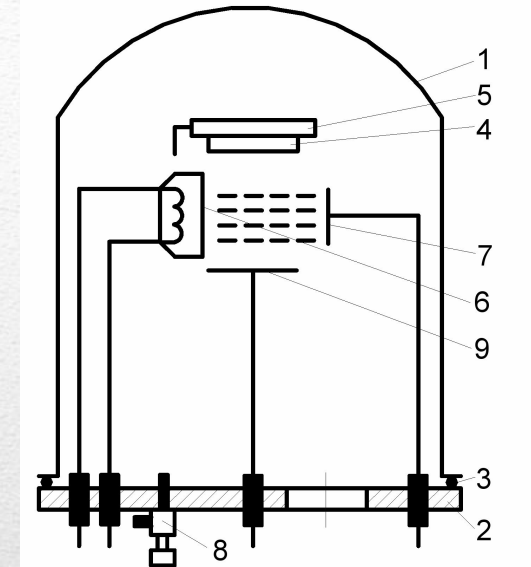




## • ИПР

Весь процесс напыления происходит только во время подачи потенциала на мишень. Если до начала напыления с помощью механической заслонки изолировать подложку, то выбитые с верхнего, загрязненного слоя мишени атомы осядут на заслонку – будет иметь место ионная очистка мишени.

Если же подать до процесса напыления отрицательный потенциал на подложку – то будет иметь место ионная очистка подложки, являющаяся практически самым эффективным способом очистки подложки от загрязнений.

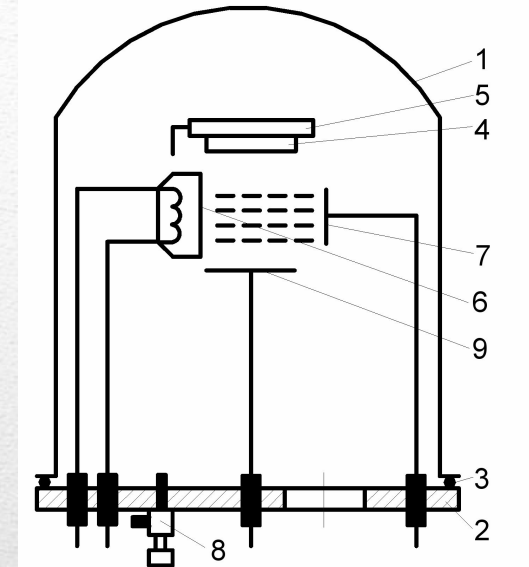


- 1 – колпак;
- 2 - опорная плита;
- 3 - прокладка;
- 4 – подложка;
- 5 – держатель;
- 6 – накаливаемый катод;
- 7 – заземленный анод;
- 8 – штуцер;
- 9 – электрод (мишень).

# Ионная очистка

## • ИПР

Возникают трудности при распылении диэлектрических материалов, т.к. на мишени возникает положительный заряд, отталкивающий ионы. Для преодоления этих трудностей применяют высокочастотное ионно-плазменное напыление, заключающееся в подаче на мишень совместно с постоянным отрицательным потенциалом высокочастотного (порядка 15 кГц) переменного напряжения с амплитудой, незначительно превышающей постоянный отрицательный потенциал.

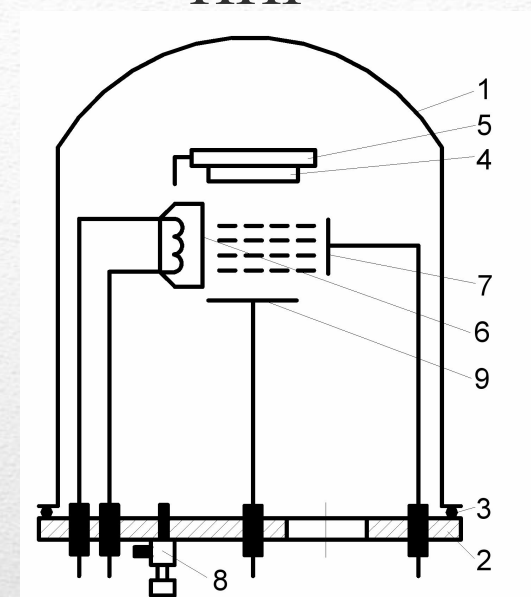


- 1 – колпак;
- 2 - опорная плита;
- 3 - прокладка;
- 4 – подложка;
- 5 – держатель;
- 6 – накаливаемый катод;
- 7 – заземленный анод;
- 8 – штуцер;
- 9 – электрод (мишень).

# Распыление диэлектриков

## • ИГР

Добавление к рабочему газу газа реагента позволяет реализовывать реактивное ионно-плазменное напыление и получать окислы, гидриды, нитриды и прочие соединения, аналогично методу ионного распыления.



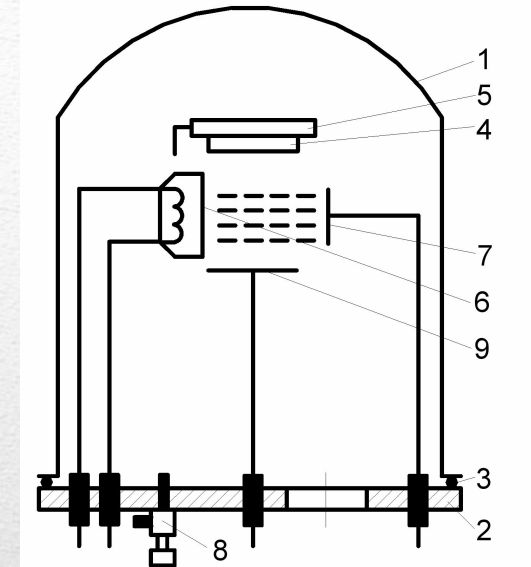
- 1 – колпак;
- 2 - опорная плита;
- 3 - прокладка;
- 4 – подложка;
- 5 – держатель;
- 6 – накаливаемый катод;
- 7 – заземленный анод;
- 8 – штуцер;
- 9 – электрод (мишень).

# Реактивное распыление

## • ИПР

Если к рабочему инертному газу добавить кислород и бомбардировать поверхность металлической пленки, находящейся под положительным потенциалом, то отрицательные ионы кислорода будут окислять металлическую пленку. Этот процесс называется анодированием.

С его помощью получают самые высококачественные пленки металлических окислов.



- 1 – колпак;
- 2 - опорная плита;
- 3 - прокладка;
- 4 – подложка;
- 5 – держатель;
- 6 – накаливаемый катод;
- 7 – заземленный анод;
- 8 – штуцер;
- 9 – электрод (мишень).

# Анодирование

- Большая площадь распыляемой пластины материала – мишени, выполняющей функции источника атомов осаждаемого вещества, позволяет получить равномерные по толщине пленки на подложках больших размеров;
- Мишень представляет собой длительно не заменяемый источник материала (при толщине пластины 3 мм смена производится один раз в месяц при двухсменной работе), что облегчает автоматизацию, повышает однородность процесса;
- Обеспечивается высокая адгезия пленки к подложке благодаря большой энергии конденсирующихся атомов;
- Получение пленок из тугоплавких металлов протекает без перегрева вакуумной камеры;
- Возможно получение окисных, нитридных и других пленок, в том числе легированных, в результате химических реакций атомов распыляемого металла с вводимыми в камеру газами;
- Можно проводить окисление плазменным анодированием;
- Можно получать органические пленки;
- Потери материала минимизированы, т.к. весь процесс происходит в геометрическом промежутке мишень-подложка, исключая объем камеры, как это имеет место в методе ТВН.

# Преимущества

---

- Небольшая скорость рабочего процесса 3 мкм/мин.
- Загрязнение в материале за счет плавления катода.
- Габариты камеры лимитируют размер детали.

## **Недостатки**

---

**Благодарю за  
внимание**

---