

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА

ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

К основным технологическим процессам (ТП) производства ЭС относятся:

- **методы удаления материала** с применением
 - а) жидкостного травления (в кислотных и щелочных средах),
 - б) «сухого травления», основанного на использовании реактивных парогазовых смесей (газовое травление)
 - в) низкотемпературной плазмы (ионно-плазменное травление, плазмохимическое травление и т.д.);

- **методы нанесения материала на поверхность изделия**
 - а) термовакuumное и электронно-лучевое испарение,
 - б) катодное и ионно-плазменное распыление материалов; химическое,
 - в) электрохимическое и плазмохимическое осаждение;
 - г) создание диэлектрических (окисных) слоев различными способами;
 - д) создание монокристаллических слоев методами жидкофазной, газофазной и молекулярно-лучевой эпитаксии);

- **методы модификации свойств материала** с помощью диффузионного легирования и ионной имплантации, лазерной и фотонной обработки;

- **методы локальной микрообработки** (методы литографии: фотолитография, электронная литография, ионная литография, рентгеновская литография);

- **нанотехнологии** (сканирующая зондовая микроскопия, нанотрубки, квантово-размерные эффекты и т.д.);

- **методы сборки и монтажа** конструктивно-технологических элементов электронных средств;

- **контроль и испытания** электронных средств.

Физико-химические процессы изготовления ЭС, общие для различных технологий производства, называют *базовыми (основными)*.

Таковыми процессами можно считать:

- получение пленок термовакuumным испарением,
- ионно-плазменное нанесение и травление пленок,
- диффузионные и литографические процессы,
- электрохимические процессы осаждения медных слоев на печатные платы (ПП) и т.п.

Уровень понимания природы этих процессов во многих случаях определяют способы их осуществления, технико-экономическую эффективность технологии и рентабельность производства в целом.

В технологии ЭС трудно выделить процессы, которые можно однозначно отнести к чисто физическим или чисто химическим. Как правило, **на химические процессы накладываются физические:**

адсорбция, диффузия, тепло- и массоперенос и др.;

на чисто физические процессы влияют химические межмолекулярное взаимодействие, хемосорбция, реактивная диффузия, реактивное испарение, химико-кинетические механизмы захвата частиц и др.

Поэтому изучают и анализируют физико-химические основы ТП. Они могут быть представлены в виде определенных закономерностей и уравнений. В них решающую роль играют **химический потенциал** и такие параметры состояния, как **температура, давление, состав, поверхностная энергия**, а также **электрические, магнитные, электромагнитные потенциалы** и др.

При любом методе исследования того или иного технологического процесса основой является *физико-химическая сущность процесса*.

Современное развитие технологий требует знания физико-химических процессов, протекающих на атомарном уровне при формировании элементов изделий ЭС, когда влиянием даже самых незначительных флуктуаций факторов и параметров уже нельзя пренебречь. Для решения возникающих при этом проблем привлекается широкий арсенал новейших физико-химических методов: электронная микроскопия, Оже- и масс-спектрометрия, эллипсометрия, спектрометрия, радиометрия и многие другие методы.

Для достаточно ясного понимания сущности физико – химических процессов необходимо прежде всего знать те основные положения физической модели вещества, на которых базируются эти процессы.

Некоторые особенности микромира

КОРПУСКУЛЯРНО – ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

1. Для макрообъектов – классическая механика.

Проявление волновых свойств света: интерференция, дифракция, поляризация.

Начало формирования классической теории света связано с исследованиями светового оптического излучения Ньютона и Гюйгенса.

2. Для микрообъектов – квантовая механика.

Свет проявляет свойства, характерные для частиц: импульс, давление света.

Начало формирования квантовой теории связано с исследованиями рентгеновского излучения Комптоном и фотоэффекта (Эйнштейн) и исследованием эффекта светового давления (теория Дж.Максвелла, эксперимент П.Н. Лебедева).

Теоретическая основа корпускулярно – волнового дуализма

Основные положения классической теории электромагнитных волн

(от радиочастотного до рентгеновского диапазона):

а) скорость распространения волны в вакууме постоянна $C = 3 \cdot 10^8$ м/с для всего диапазона электромагнитных волн.

б) для электромагнитных волн справедливо соотношение

$$\nu \cdot \lambda = c \quad [м/с] \quad [1]$$

ν - частота эл. маг. излучения; λ - длина волны эл. маг. излучения; c – скорость света в веществе (c – скорость света в вакууме $> c$ – скорость света в веществе).

Спектр эл. маг. волн: радиоволны $\lambda \sim 10^3$ м – рентгеновское излучение $\lambda \sim 10^{-12}$ м

Основные положения корпускулярной теории электромагнетизма

Гипотеза Планка:

- а) энергия эл. маг. излучения делится на порции (кванты) – квантуется;
- б) Энергия квантов пропорциональна частоте излучения

$$E_{кв} = h \cdot \nu \quad [Дж] ; \quad [2]$$
$$E_{кв} = \frac{hc}{\lambda}$$

Постоянная планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж/с - квант действия

$h = E_{кв} / \nu$ - энергия кванта с единичной частотой

Постулаты Эйнштейна

Кванты рассматриваются как корпускулы (частицы), скорость которой постоянна, одинакова и равна C . В отличие от других материальных частиц, у которых скорость может принимать любые значения от 0 до C .

Представления Эйнштейна опираются на экспериментальные факты:

- 1. Эффект Комптона;
- 2. Фотоэффект.

Эффект Комптона

С точки зрения волновой теории световые волны должны рассеиваться на малых частицах без какого-либо изменения частоты излучения, что опытом не подтверждается.

При исследовании законов рассеяния рентгеновских лучей А. Комптон установил, что при прохождении рентгеновских лучей через вещество происходит увеличение длины волны рассеянного излучения по сравнению с длиной волны падающего излучения. Чем больше угол рассеяния, тем больше потери энергии, а следовательно, и уменьшение частоты (увеличение длины волны). Если считать, что пучок рентгеновских лучей состоит из фотонов, которые летят со скоростью света, то результаты опытов А. Комптона можно объяснить следующим образом.

Законы сохранения энергии и импульса для системы фотон - электрон:

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2$$

$$\vec{p} = \vec{p}' + m\vec{v}$$

где m_0c^2 - энергия неподвижного электрона; $h\nu$ - энергия фотона до столкновения; $h\nu'$ - энергия фотона после столкновения, P и p' - импульсы фотона до и после столкновения; mv - импульс электрона после столкновения с фотоном.

Решение системы уравнений для энергии и импульса с учетом того, что

$$mc^2 = m_0c^2 + p^2c^2$$

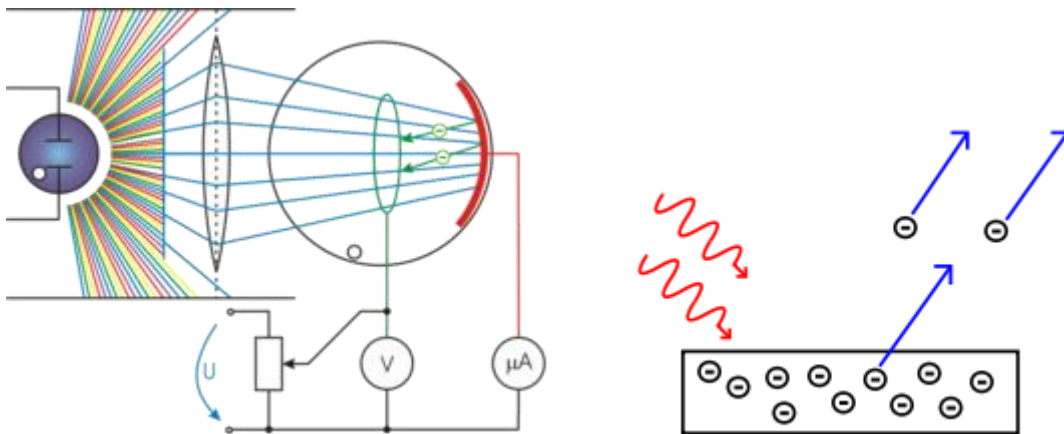
дает формулу для измерения длины волны при рассеянии фотона на (неподвижных) электронах:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\varphi), \quad \lambda_0 = \frac{h}{m_0c}$$

где λ_0 - так называемая комптоновская длина волны.

Эффект Комптона невозможно объяснить с точки зрения волновой классической теории, что приводит к корпускулярной теории природы эл. маг. излучения.

Фотоэффект



В эксперименте:

1 количество вылетевших с катода электронов \sim интенсивности (мощности) падающего излучения.

2. Максимальная $E_{кин}$ электронов не зависит от интенсивности излучения I (как в случае волны), а зависит от частоты излучения ν , т.е. от энергии фотонов: $\max E_{ке} = h\nu - A$

В другом виде $mv^2/2 = h\nu - A$

Выводы по модели корпускулярно – волнового дуализма.

1. Чем больше ν , тем ярче выражены квантовые свойства света и менее - волновые.

Всякому излучению присущи одновременно волновые и квантовые свойства. Как проявляет себя фотон - как волна или как частица,— зависит от характера проводимого над ним исследования.

ВОЛНОВАЯ ПРИРОДА ЧАСТИЦ

ВОЛНЫ МАТЕРИИ

Гипотеза де Бройля: **волновой природой обладают не только световые частицы (фотоны), но и любые материальные частицы.**

Подтверждение гипотезы – существование для элементарных частиц (например электронов) явлений дифракции и интерференции.

Для энергии фотонов $E_{кв} = h \cdot \nu$.

В принципе, каждой материальной частице можно приписать частоту

$$\nu = E_{кв} / h.$$

Для импульса $P = h \cdot \nu / c$, тогда $\lambda = h/p$.

Откуда для де Бройлевской длины волны $\lambda = h/p = h/mv$.

Вводится понятие фазовой скорости $U = \lambda \cdot \nu = E/mv$

Так как $p = h \cdot \nu / c$ и для фотона $p = m \cdot c$

Тогда $E = m \cdot c^2$ ($h \cdot \nu = m \cdot c^2$; $E_{кв} = h \cdot \nu$)

и для фазовой скорости $u = c^2/\nu$ - групповая скорость волны материи

Длина волны де Бройля λ_B определяет, можно ли рассчитать кинематическое поведение любого тела в произвольном силовом поле по законам классической (Ньютоновой) механики или надо учитывать волновую природу частиц, используя волновую механику.

Два показательных примера

1. Для макротел – например искусственный спутник земли.

$v = 2 \cdot 10^3$ м/с ; $m = 500$ кг . Следовательно $\lambda_B = 7 \cdot 10^{-10}$ м.

2. Электрон в центральном поле протона (боровская модель атома водорода)

$v = 2,2 \cdot 10^6$ м/с ; $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг . Следовательно $\lambda_B = 3,3 \cdot 10^{-10}$ м.
Радиус орбиты $a_0 = 5,3 \cdot 10^{-11}$ м.

Т.о. λ_B сопоставима с a_0 , что существенно при рассмотрении движения электрона.

Опыты по дифракции и интерференции

Электроны с $v = 7 \cdot 10^6$ м/с падают на поверхность металла с регулярной атомной решеткой и рассеиваются на атомах. Среднее расстояние между атомами (центрами рассеивания) $d = 10^{-10}$ м, для электрона

$\lambda_B = 10^{-10}$ м, т.е. $d = \lambda_B$, следовательно выполняется условие существования дифракции.