Лекции по дисциплине «Основы анализа поверхности методами атомной физики» Профессор каф. общей физики ТПУ Н.Н. Никитенков.

Фотоэффект

Определение фотоэффекта

фотоэффект - любые изменения, которые происходят с веществом при поглощении им электромагнитного излучения

Это могут быть:

- изменения строения и свойств молекул и кристаллов (фотохимический эффект),
- увеличение скорости химических реакций (фотокаталитический эффект),
- изменение характеристик движения носителей электрического заряда в веществе (фотоэлектрический эффект) и др.

ФОТОЭФФЕКТ



(фотоэлектронная эмиссия) испускание освещенным телом свободных электронов в вакуум;

свободные электроны могут собираться на анод, фокусироваться или ускоряться электрическим полем.

Применение:

вакуумные и газонаполненные фотоэлементы с внешним фотоэффектом и более сложные вакуумные приборы, в которых фотоэмиттер служит источником свободных электронов



переход электронов в объеме освещенного полупроводника в возбужденное состояние (т. е. на более высокие энергетические уровни) без изменения нейтральности твердого тела, т. е. без выхода электронов за его пределы.

проявляется, например, в виде изменения концентрации электронов проводимости в полупроводнике при его освещении, т. е. в изменении связанных с этим электрических свойств полупроводникового материала

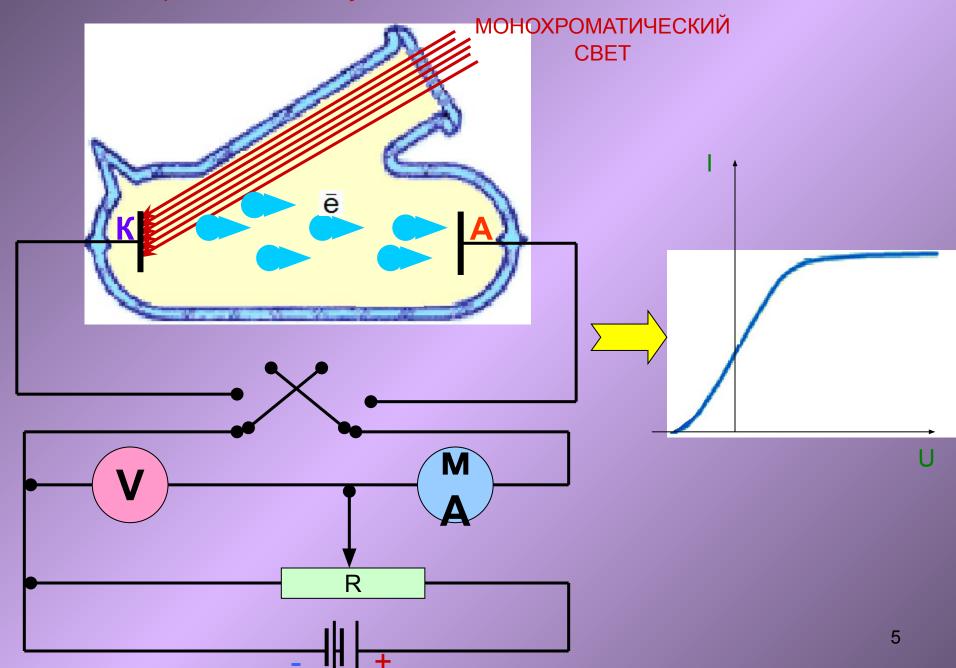
<u>Применение:</u>

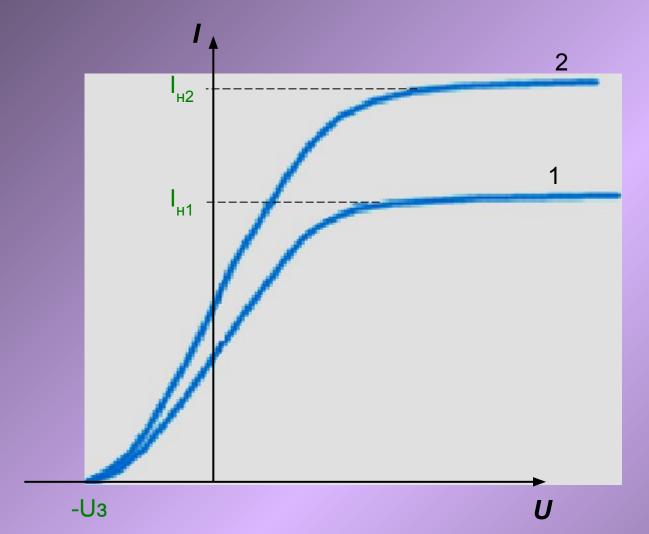
большой класс полупроводниковых приемников излучения: фоторезисторы, фотодиоды, солнечные батареи

История развития учения о фотоэлектричестве и создании фотоэлектронных приборов насчитывает более 150 лет.

- 1839 г. А. Беккерель впервые обнаружил образование фотоЭДС на контактах разнородных материалов.
- 1873 г. первые сообщения о зависимости сопротивления селена от освещения.
- 1875 г. построение первого селенового фотоэлемента, использующего это свойство.
- 1876 г. первый селеновый фотоэлемент с запирающим слоем.
- 1887 г. открытие Г. Герцем внешнего фотоэффекта, который установил, что электрический разряд между двумя проводниками происходит значительно сильнее, когда металлические электроды освещаются светом, богатым ультрафиолетом (например, светом от искры другого разрядника).
- 1888 г. итальянский уч. Аугусто Риги обнаружил, что проводящая пластинка, освещенная пучком ультрафиолетовых лучей, заряжается положительно; ввел термин фотоэлектрические явления.
- **1888 г. А. Г. Столетовым** выполнены фундаментальные работы по исследованию фотоэмиссии и сформулированы основные законы внешнего фотоэффекта.
- **1889 г. Ф. Ленард** и **Дж. Дж. Томсон** доказали, что при фотоэффекте испускаются электроны.
- **1889 г. Эльстер** и **Гейтель** построили первый вакуумный фотоэлемент с фотокатодом из сплава натрия и калия.
- 1905 г. А. Эйнштейн объяснил основные закономерности фотоэффекта на основе гипотезы о квантовании энергии электромагнитного поля, проявляющемся в процессах испускания и поглощения света. 1921 г. Нобелевская премия.

Схема экспериментальной установки





Зависимость силы фототока от приложенного напряжения.

Кривая 2 соответствует большей интенсивности светового потока. $I_{\rm H1}$ и $I_{\rm H2}$ – токи насыщения, $U_{\rm 3}$ – запирающий потенциал.

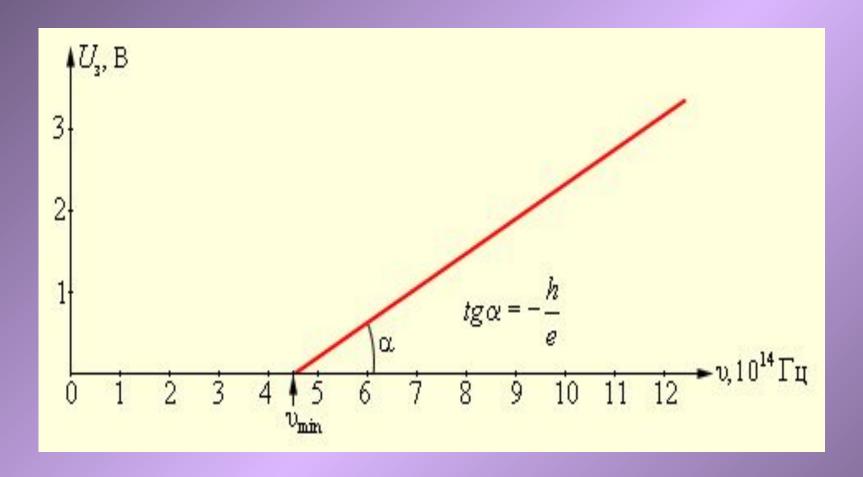
При достаточно больших положительных напряжениях на аноде A фототок достигает насыщения, так как все электроны, вырванные светом из катода (К), достигают A.

Ток насыщения Ін прямо пропорционален интенсивности падающего света.

Когда U<0 на A, электрическое поле между К и A тормозит электроны. Анода могут достичь только те электроны, у которых $E_{\text{кин}} > |eU|$. Если $U_{\text{анода}} < -U_{_3} ->$ фототок прекращается.

Измеряя Uз, можно определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов:

$$\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\text{max}} = eU_{\pi^*}$$



Зависимость запирающего потенциала U₃ от частоты v падающего света

Основные закономерности фотоэффекта,

• Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света v и не зависит от его интенсивности (закон Эйнштейна).

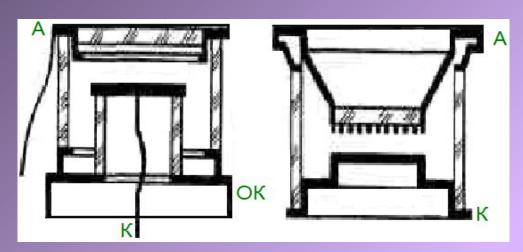
Наибольшая кинетическая энергия, которую может иметь вылетевший из катода фотоэлектрон: $\frac{mv^2}{2}) = eU_{_3} = hv - A$

 Для каждого вещества существует так называемая красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота v_{min}, при которой еще возможен внешний фотоэффект.

- Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.
- Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света $v > v_{min}$.

Фотоэлектронные приборы:

1. фотоэлементы



Типичные конструкции вакуумных фотоэлементов:

А - вывод анода;

К – вывод фотокатода;

ОК - вывод металлического охранного кольца

(устанавливается для исключения попадания токов утечки на нагрузку).

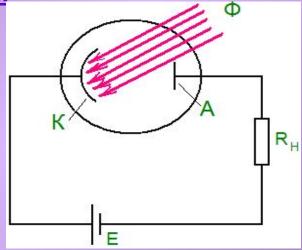


Схема включения фотоэлемента с внешним фотоэффектом:

К - фотокатод; **A** - анод;

Ф - световой поток;

E - источник постоянного тока, служащий для создания в пространстве между катодом и анодом электрического поля, ускоряющего фотоэлектроны;

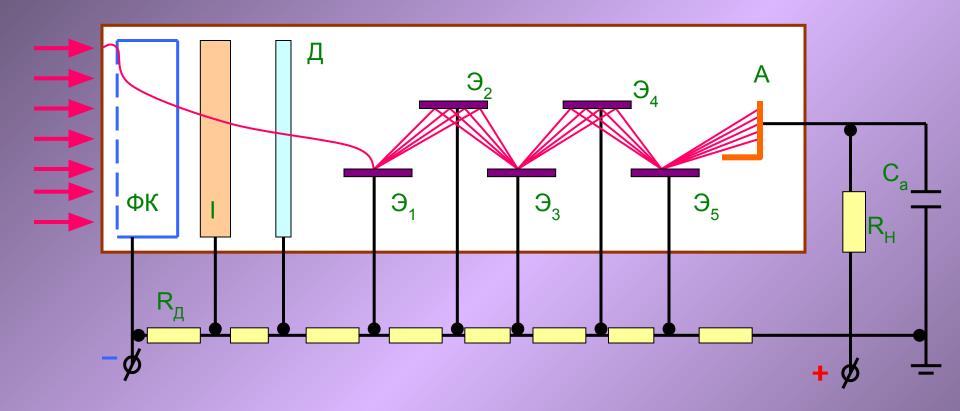
 $R_{\rm H}$ — нагрузка.

Применение:

Различные прибора и системы для регистрации световых потоков

Недостаток:

2. фотоумножители



Принципиальная схема ФЭУ с делителем напряжения:

 ΦK - фотокатод;

I - фокусирующий электрод;

Д - диафрагма;

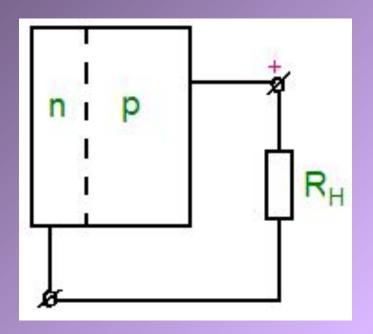
Э1....Э5 - диноды;

А - анод;

R_д - сопротивление делителя напряжения; R_н — нагрузочное сопротивление в цепи анода;

– емкость анода.

3. полупроводниковые устройства



Полупроводниковый прибор с выпрямляющим полупроводниковым переход (p-n - переходом) — фотоэлемент, действие которого основано на внутреннем фотоэффекте.

Схема фотоэлемента с внутренним фотоэффектом:

р и п — области полупроводника с дырочной и электронной проводимостями.

Пунктирной линией обозначен p-n - переход

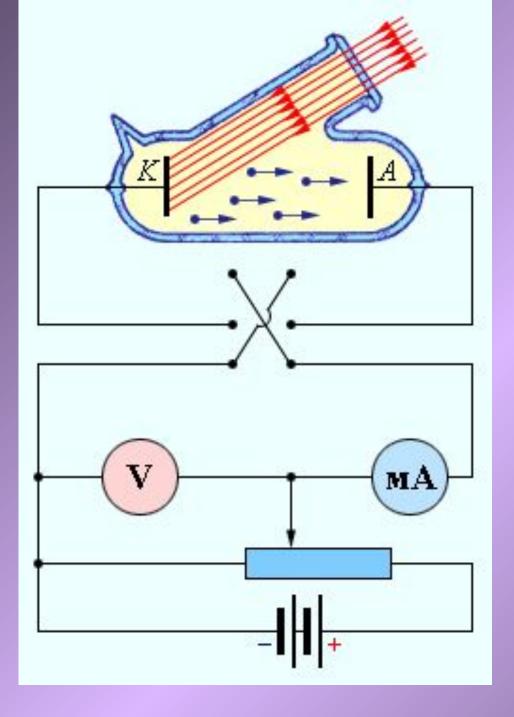
В качестве материалов для полупроводникового фотоэлемента используются Se, GaAs, CdS, Ge и Si.

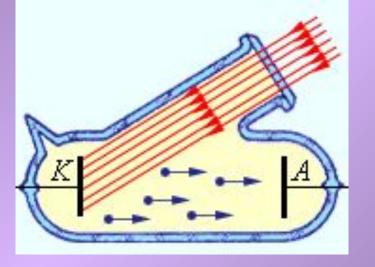
Применение:

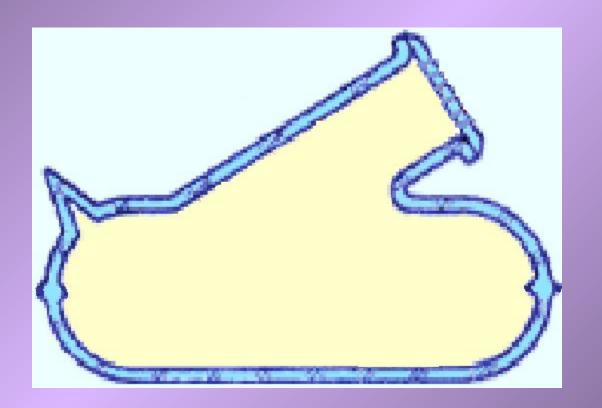
Приемники оптического излучения, для прямого преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию в солнечных батареях.

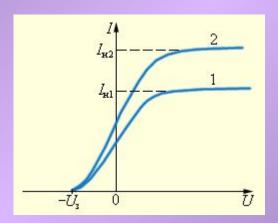
Основные области применения фотоэлектронных приборов

- 1. Объективная фотометрия, различного рода световые, цветовые, спектральные измерения (спектроскопия и спектрофотометрия), а также измерение весьма слабых излучений (в астрофизике, в биологии и других областях научного исследования).
- 2. Фотоэлектрический контроль и управление производственными процессами, автоматика, транспорт, бытовая техника.
- 3. Электронные счетные, запоминающие и записывающие устройства.
- 4. Регистрация и измерение инфракрасного излучения, сигнализация и локация в видимых и инфракрасных лучах, техника ночного видения.
- 5. Системы оптической связи на лазерах.
- 6. Преобразование энергии солнечного излучения непосредственно в электрическую энергию (солнечные батареи, широко применяющиеся для питания аппаратуры искусственных спутников Земли и других устройств).
- 7. Оптоэлектроника.









- Основными законами внешнего фотоэффекта (справедливыми для любого материала фотоэмиттера) являются следующие экспериментально установленные соотношения:
- 1. Величина фототока в режиме насыщения прямо пропорцио нальна интенсивности падающего света, если спектральный состав излучения неизменен (закон Столетова)..
- 2. Для каждого вещества существует длинноволновая (красная) граница спектра излучения λο, за которой (при λ > λο) фотоэмиссии не происходит. Эту наибольшую длину волны λо (или наименьшую энергию кванта hvo) излучения, еще вызывающего фотоэффект, называют также длинноволновым порогом фотоэффекта, а соответствующую ей наименьшую частоту vo= λo /с порогавой частотой (с скорость света).
- 3. Максимальная начальная кинетическая энергия фотоэлект ронов линейно возрастает с частотой падающего света и не зависит от его интенсивности (закон Эйнштейна).

Фото:

А. Беккерель, Г. Герцем, Аугусто Риги, А. Г. Столетовым, Ф. Ленард и Дж. Дж. Томсон, Эльстер и Гейтель