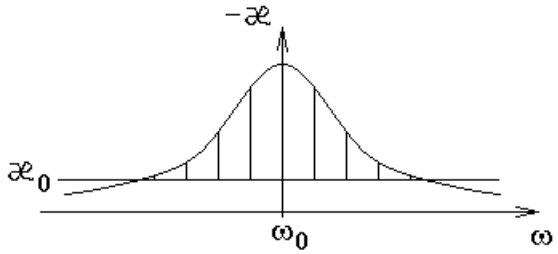
Экзамен. Селекция лазерных мод. Пленка Троицкого.

Обычно внутри частотного контура усиления лазерной среды при условии усиления больше потерь $(-\varkappa) > \varkappa_0$ помещается несколько продольных мод с интервалом $\Delta\nu = \dfrac{c}{2nL}$.



В случае доплеровского уширения линии усиления лазер излучает на всех отмеченных частотах одновременно.

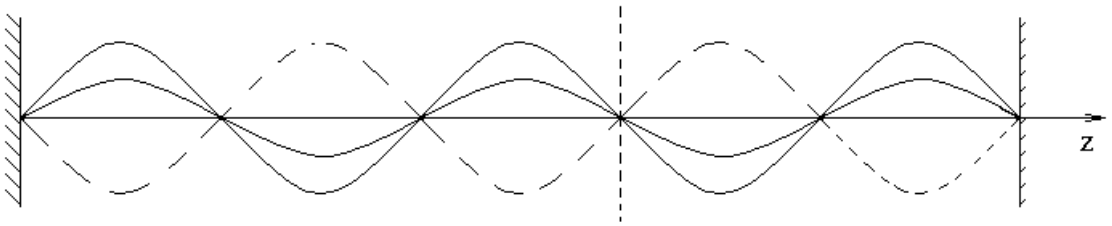
Чтобы получить одночастотный режим генерации лазера нужно подавить генерацию на лишних продольных модах. Эту задачу селекции продольных мод можно решить с помощью пленки Троицкого.

Пленки Троицкого бывают двух типов: с металлическим напылением (поглощающая) и с диэлектрическим узором (рассеивающая).

Толщина пленки Троицкого должна быть гораздо меньше половины длины волны.

Пленку Троицкого помещают внутрь резонатора лазера перпендикулярно лучу.

Если пленка Троицкого находится в узле стоячей волны поля $\vec{E}$, то пленка не поглощает и не рассеивает свет.



пленка Троицкого

Если же пленка Троицкого находится в пучности стоячей лазерной волны, то она поглощает или рассеивает свет и вносит дополнительные потери в соответствующую продольную моду.

Генерация остается только для тех продольных мод, для которых пленка находится в узле стоячей волны.

Рассмотрим теперь селекцию поперечных лазерных мод.

Селекция поперечных мод обычно осуществляется внутрирезонаторной ирисовой диафрагмой.

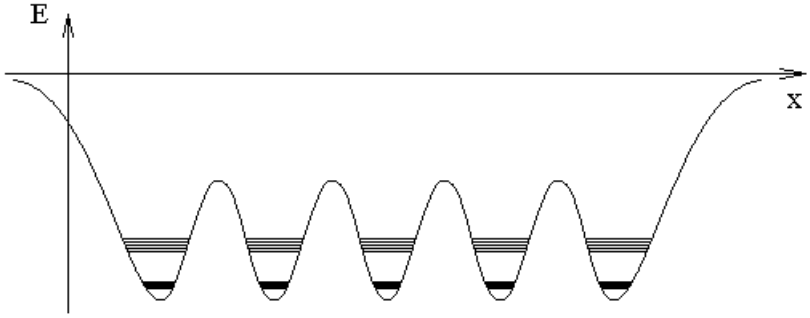
Ирисовая диафрагма — отверстие в непрозрачном экране, диаметр которого можно изменять. Конструктивно ирисовая диафрагма состоит из нескольких металлических лепестков. Ирис — цветок.

Диафрагму ставят симметрично относительно оси резонатора. Моды с большими поперечными индексами имеют световое поле, которое частично занимает объем достаточно далеко расположенный от оси резонатора. Диаметр диафрагмы можно подобрать так, чтобы из всех поперечных мод генерация осталась только на низшей моде с индексами (0,0) или, как говорят, только на продольной моде.

Факультативно. Уровни энергии твердого тела.

Если рядом находятся два одинаковых атома, то каждый уровень энергии одиночного атома раздваивается. Если рядом находятся три одинаковых атома, то каждый уровень энергии растраивается. Если рядом находятся N атомов, то вместо каждого уровня образуется N близких друг другу уровней энергии. Если $N \approx 10^{23}$, то вместо каждого уровня образуется целая зона уровней энергии. Это и есть энергетические зоны в твердом теле.

Рассмотрим зависимость потенциальной энергии электрона от его координаты в твердом теле. Около каждого атома образуется минимум потенциальной энергии.



Каждый уровень энергии уединенного атома расщепляется в зону уровней, которые принадлежат всему кристаллу, а не одному атому. Согласно квантовой механике электрон способен туннелировать из одной потенциальной ямы в другую через потенциальный барьер, оставаясь при этом на уровне энергии, расположенном ниже высоты потенциального барьера. Чем выше уровень энергии одиночного атома, тем легче электрон туннелирует (просачивается) через потенциальный барьер из одной потенциальной ямы в другую, тем выше частота туннелирования, которая равна частотному расстоянию соседних уровней энергии в зоне.

Для нижних уровней энергии одиночного атома вероятность туннелирования через барьер очень мала, уровни энергии почти не расщепляются и остаются одиночными уровнями, а не зонами уровней.

Если электрон часто переходит из одной потенциальной ямы в другую, то это свободный электрон, а зона уровней энергии — зона проводимости. Если электрон редко переходит, то это связанный электрон, а зона — валентная зона.

Между валентной зоной уровней энергии и зоной проводимости находится зона совсем без уровней — запрещенная зона.

При изображении энергетических зон по вертикали откладывают энергию уровня, а по горизонтали обычно ничего не откладывают. Уровни энергии рисуют горизонтальными отрезками, потому что отрезки лучше видно, чем точки на оси энергии.

Если верхнее занятое электронами состояние находится в валентной зоне, то материал — диэлектрик. Диэлектрик не проводит электрический ток.

Если верхнее занятое электронами состояние находится в зоне проводимости, то материал — проводник. Проводник проводит электрический ток.

В полупроводнике при температуре абсолютного нуля $T = 0$ верхнее занятое состояние находится в валентной зоне. При комнатной температуре есть очень небольшое количество электронов в зоне проводимости, так как ширина запрещенной зоны полупроводника (например, для кремния 1.12 эВ, для германия 0.78 эВ) сравнима с тепловой энергией kT, хотя и заметно больше, чем kT (0.026 эВ). При этом очень малая часть электронов на хвосте распределения Ферми — Дирака аналога распределения Больцмана все же попадает в зону проводимости.

Факультативно. Полупроводники *n*- и *p*-типа.

Типичные полупроводники 4-х валентны: кремний Si, германий Ge. В чистых полупроводниках проводимость настолько мала, что проводимость реального полупроводника всегда определяется его примесями.

Добавление примесей — легирование полупроводника.

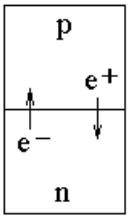
Если примесь 5-и валентна (P — фосфор), то атом примеси имеет лишний электрон, который легко отрывается и начинает блуждать по полупроводнику. Получается полупроводник n-типа. У него негативные носители тока, поэтому полупроводник *n*-типа.

Если примесь 3-х валентна (In — индий), то к атому примеси легко прилипает лишний электрон. Недостаток электрона — дырка. Дырка перемещается от одного атома полупроводника к другому. Получается полупроводник *p*-типа. У него позитивные носители тока, поэтому полупроводник *p*-типа.

Факультативно. Полупроводниковый диод.

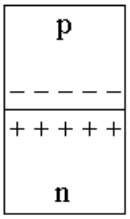
Рассмотрим, что происходит при соприкосновении полупроводника *n*-типа и полупроводника *p*-типа.

Электроны диффундируют через контакт двух полупроводников из полупроводника *n*-типа в полупроводник *p*-типа. Дырки диффундируют во встречном направлении из *p* в *n* полупроводник.

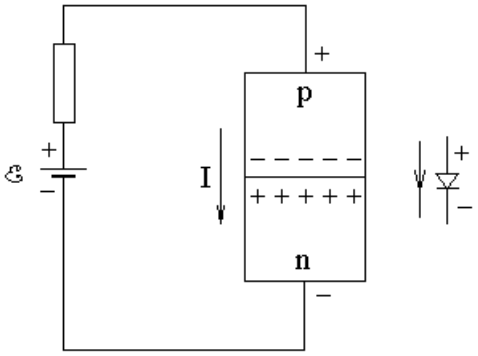


Электроны в чужом для них полупроводнике *p*-типа называют неосновными носителями тока, как и дырки в полупроводнике *n*-типа. Неосновные носители тока в чужом для них полупроводнике встречаются с основными носителями и рекомбинируют.

В результате рекомбинации в области контакта уменьшается концентрация носителей тока и появляется слой, обедненный носителями.



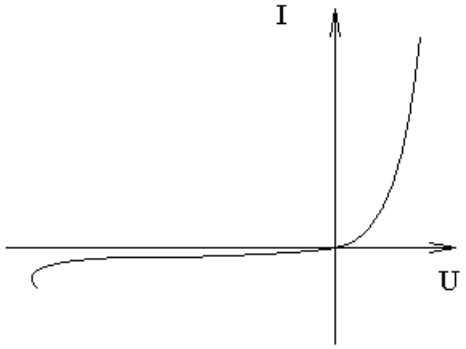
Рекомбинируя в чужом полупроводнике, неосновные носители оставляют перенесенный через контакт заряд. В области контакта появляется двойной электрический слой, похожий на заряженный конденсатор. Как и на конденсаторе, на двойном слое происходит падение напряжения. Это напряжение возрастает до тех пор, пока оно не останавливает диффузию оставшихся носителей тока через контакт.



Если к контакту приложить внешнее электрическое поле, которое уменьшает контактное напряжение, то диффузия носителей тока возобновляется. Через контакт течет ток.

Если к контакту приложить внешнее электрическое поле, которое увеличивает запирающее контактное напряжение, то тока нет.

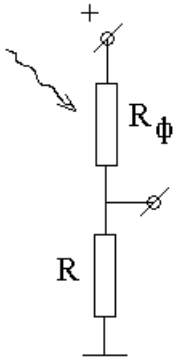
То есть контакт двух полупроводников представляет собой диод. Он пропускает электрический ток в одну сторону и не пропускает в другую.



Лекционные демонстрации.

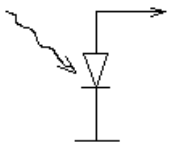
Экзамен. Приемники света: фоторезистор, фотодиод, ФЭУ, лавинный фотодиод.

Полупроводник можно использовать, как фоторезистор. При поглощении кванта света в полупроводнике происходит переход электрона из валентной зоны в зону проводимости. При этом образуется пара электрон-дырка. Под действием приложенного напряжения в таком полупроводнике потечет ток. Проводимость полупроводника будет тем больше, чем больше в нем носителей тока: электронов и дырок. То есть сопротивление полупроводника уменьшается в результате поглощения света. Такое устройство называют фотосопротивлением или фоторезистором.



Часто в качестве приемника света используется фотодиод. Рассмотрим три варианта включения фотодиода в электрическую схему.

1). Режим фото ЭДС.

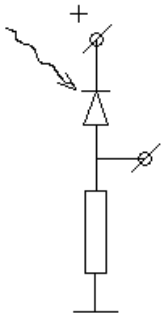


При поглощении кванта света в области *p-n* перехода образуется пара электрон-дырка, это процесс обратный рекомбинации. Контактное напряжение в области *p-n* перехода ускоряет электроны в одну сторону, а дырки — в другую. Контактная разность потенциалов уменьшается.

При указанной полярности включения фотодиода под действием света на выходе образуется положительное напряжение $U_{вых} > 0$.

Преимущество схемы — малые шумы. Недостаток — нелинейная зависимость напряжения на выходе от интенсивности света.

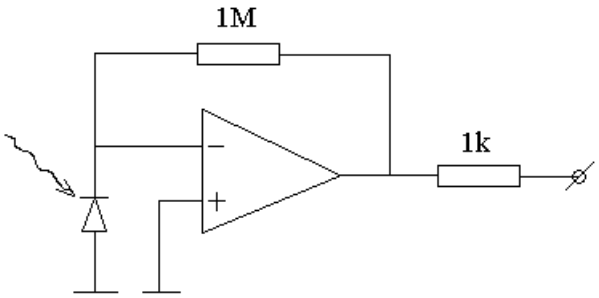
2). Режим включения с внешним источником напряжения.



Напряжение на выходе схемы линейно растет пропорционально интенсивности света.

Преимущество схемы — линейность и большая чувствительность (высокий коэффициент передачи). Недостаток схемы — большие шумы.

3). Режим короткого замыкания.



Преимущества схемы — высокая линейность, малые шумы, высокий коэффициент передачи. При указанной полярности включения фотодиода под действием света на выходе операционного усилителя образуется положительное напряжение $U_{вых} > 0$.