На основе использования свойств р-n-перехода в настоящее время создано множество различных типов полупроводниковых диодов.

Выпрямительные диоды предназначены для преобразования переменного тока в постоянный. Их основные параметры: Iпр max -максимальный прямой ток; Vпр - падение напряжения на диоде при прямом смещении и заданном токе; Iобр -ток через диод при обратном смещении и заданном напряжении; Vобр max - максимальное обратное напряжение; f-диапазон частот, в котором выпрямленный ток не снижается меньше заданного уровня.

По величине выпрямленного тока выпрямительные диоды малой(Iпр < 0, 3А), средней (0, 3 A <Iпр >10 А) и большой (Iпр >10A) мощности. Для создания выпрямительных диодов применяются плоскостные p-n-переходы, полученные сплавлением и диффузией. Высокие значения Iпр обеспечиваются использованием p-n-переходов с большой площадью.

Большие значения Vобр max достигаются использованием в качестве базы диода материала с высоким удельным сопротивлением. Наибольшие значения Vобр max могут быть получены при использовании p-i-n-диода, так ширина области объемного заряда в нем наибольшая, а следовательно, наибольшее и значение напряжение пробоя. Так как с изменением температуры Vобр max изменяется, то его значение дается для определенной температуры (обычно комнатную) .

При больших Iпр в диоде, вследствие падения напряжения на нем, выделяется тепло. Поэтому выпрямительные диоды отличаются от остальных типов диодов большими размерами корпуса и внешних выводов для улучшения теплоотвода.

Выпрямительные диоды изготавливают в настоящее время в основном из кремния и германия. Кремниевые диоды позволяют получать высокие обратные напряжения пробоя, так как удельное сопротивление собственного кремния (p 10 Ом см) много больше удельного сопротивления собственного германия(p 50 Ом см). Кроме этого, кремниевые диоды оказываются работоспособными в большем интервале температур (-60. . . +125С), поскольку ширина запрещенной зоны в кремнии(1, 12эВ)больше, чем в германии(0, 72эВ), а следовательно, обратный ток меньше(1, 46).

Германиевые диоды работоспособны в меньшем интервале температур(-60. . . +85C), однако их выгоднее применять при выпрямлении низких напряжений, так как Vпр для германиевых диодов(0, 3. . . 0, 8 B ) меньше , чем для кремниевых(до 1, 2В). Следовательно, меньше будет и мощность, рассеиваемая внутри германиевого диода.

 Полупроводниковые диоды, на вольт-амперной характеристике которых имеется участок со слабой зависимостью напряжения от тока, называются стабилитронами. Таким участком является участок пробоя p-n-перехода. Для изготовления стабилитронов используют кремний, так как обратный ток кремниевых диодов, по сравнению с германиевыми, меньше зависят от температуры, а следовательно, вероятность теплового пробоя в них меньше и напряжение на участке пробоя (лавинного или туннельного)почти не изменяется с изменением тока.

Основные параметры стабилитронов:Vст-напряжение стабилизации; Iст min-минимальный ток, с которого начинается стабилизация напряжения; Rд=dV/dI-дифференциальное сопротивление (в рабочей точке); Rстат=V/I-статическое сопротивление (в рабочей точке); Q=Rд/Rстат-коэффициент качества; ТНК=(1/Vст)(dVст/dT)-температурный коэффициент напряжения стабилизации.

Стабилитроны изготавливаются с различными значениями Vст, от 3 до 200 В.

Для диодов с Vст>7В ширина p-n-перехода достаточно велика и механизм пробоя лавинный. С ростом температуры обратный ток диода увеличивается, так-же увеличивается и напряжение пробоя. Это обусловлено тем, что тепловое рассеяние увеличивается, длина свободного пробега носителей уменьшается и к p-n-переходу требуется приложить большее напряжение, чтобы носители заряда на большем пути (равном длине свободного пробега) набрали кинетическую энергию, достаточную для ионизации.

В диодах с Vст<7В ширина p-n-перехода мала и наряду с лавинным механизмом действует и туннельный.

Конструктивно стабилитроны изготавливаются подобно выпрямительным диодам, и их можно использовать вместо диодов.

Импульсные Диоды

Импульсными называются диоды, которые могут работать с временами переключения 1 мкс и меньше. Высокочастотными выпрямительные диоды, предназначенные для работы на частотах до 150 МГц и выше.

Большое влияние на характеристики p-n-перехода на высоких частотах оказывает зарядная емкость. Ее влияние проявляется в шунтировании p-n-перехода на высоких частотах и ухудшении выпрямляющих свойств. В импульсных диодах наличие зарядной емкости приводит к искажению формы импульса. Поэтому импульсные и высокочастотные диоды характеризуются как малым значением диффузионной емкости так и малым значением зарядной емкости. Малое значение зарядной емкости достигается уменьшением площади p-n-перехода. Поэтому основная конструктивная задача заключается в уменьшении площади p-n-перехода.

Для изготовления импульсных и высокочастотных диодов используют германий и кремний. Преимуществом диодов из германия является малое значение падения напряжения на диоде при прямом смещении, что существенно при работе диодов при малых сигналах.

Представляет интерес создание импульсных и высокочастотных диодов на основе гетеропереходов с одним типом проводимости, например, n1-n2.

Если работа выхода электронов из широкозонного полупроводника меньше, чем из узкозонного, то энергетическая диаграмма n1-n2гетероперехода может быть представлена в виде (Рис. 1)

 Рис. 1

При подаче напряжения на гетеропереход, например положительного на n2, а отрицательного на n1-полупроводник, электроны из n1-полупроводника смогут переходить в n2-полупроводник. Через гетеропереход протекает ток, и такую полярность внешнего напряжения можно назвать прямой.

При обратном смещении электроны из n2-полупроводника будут скатываться в потенциальную яму перед переходом, пройти который они не могут, так как перед ними находится потенциальный барьер. Обратный ток может образоваться только за счет туннельного перехода электронов из n2-полупроводника через потенциальный барьер и за счет перехода дырок из n1- в n2-полупроводник. Для его уменьшения первый полупроводник должен быть достаточно сильно легирован, чтобы концентрация неосновных носителей была мала, а ширина перехода должна быть достаточно большой, чтобы электроны из n2-полупроводника не смогли туннелировать через потенциальный барьер.

Диоды Шоттки

Для создания диодов Шоттки используется контакт метал-полупроводник. Диоды Шоттки отличаются тем, что их работа основана на переносе основных носителей. При прямом смещении электроны из полупроводника переходят в металл. Их энергия на больше энергии электронов в металле. Электроны из полупроводника быстро (примерно за 10 с) теряют на соударениях свою избыточную энергию и не могут возвратиться в полупроводник. В диодах Шоттки не происходит накопления заряда неосновных носителей (обуславливающее снижение быстродействия p-n-перехода), поэтому они особенно перспективны для использования в качестве сверхбыстродействующих импульсных и высокочастотных диодов. Типичное время восстановления обратного сопротивления диода Шоттки на основе, например Au-Si, порядка 10 пс и менее.

Фотодиоды

Если подать на диод обратное смещение, он может использоваться в качестве фотоприемника, ток которого зависит от освещения. При достаточно больших обратных напряжениях вольт-амперная характеристика (рис. 2) запишется так:

 I=-( Iнас+ Iф)=- Iнас- qcB SФ

т. е. ток не зависит от напряжения, а определяется только интенсивностью света.

 Рис. 2

Для увеличения чувствительности фотодиода может использоваться эффект лавинного умножения носителей в области объемного заряда p-n-перехода. К недостаткам лавинного фотодиода следует отнести, во-первых зависимость М от интенсивности света и, во-вторых, жесткие требования к стабильности питающего напряжения (0, 01. . . 0, 2 %), так-как коэфициент умножения М сильно зависит от напряжения.

Инерционные свойства фотодиодов можно характеризовать предельной рабочей частотой (частота модуляции света, на которой амплитуда фотоответа уменьшается до 0, 7 от максимальной), постоянной времени фотоответа (определяемой по времени наростания импульса фотоответа до 0, 63 до максимального, при прямоугольном импульсе света), сдвигом фаз между входным (световым) и выходным (электрическим) сигналом.

В общем случае, инерционность фотодиодов определяется тремя основными параметрами: временем диффузии неравновесных носителей через базу ; временем их полета через область объемного заряда p-n-перехода ; RC-постоянной . Время диффузии носителей через базу определено как:

 =W /2 Dp Время полета носителей через область область объемного заряда (шириной d) можно оценить как = d/Vmax, где Vmax - максимальная скорость движения носителей в электрическом поле, которая при больших полях не зависит от напряженности электрического поля вследствии уменьшения подвижности в силовых полях.

Высоким быстродействием обладают фотодиоды на основе барьера Шоттки. В типичной структуре такого диода через тонкую полупрозрачную пленку металла и поглощается в основном в области объемного заряда полупроводника. Следовательно, иннерционность обуславливается только временами i и rc. Малое значение обуславливается узкой областью объемного заряда, а небольшое значение получается за счет того, что удельное сопротивление металла много меньше, чем полупроводника, и соответственно меньше. Основными переносчиками тока через контакт в этом случае являются дырки полупроводника, которые практически мгновенно рекомбинируют с электронами в металле.

Светодиоды

Энергетической характеристикой излучающих диодов (светодиодов) является квантовая эффективность, которая определяется как отношение числа излучаемых во вне фотонов к числу электронов, проходящих через p-n-переход. Хотя эта величина теоретически может достигать 100%, практически она порядка 0, 1. . . 1%. Это объясняется большой долей безизлучательных переходов в общем рекомбинационном процессе и малостью доли фотонов, выходящих из светодиода. С понижением температуры вероятность излучательной рекомбинации растет и квантовая эффективность увеличивается.

Отличительными особенностями светодиодов по сравнению с обычными источниками света являются малые размеры, малые рабочие напряжения, высокое быстродействие (~10 c) и большой срок службы. Светодиоды находят широкое применение для схем автоматики, световых табло, оптронов.

Туннельные Диоды

Туннельный диод является с вольт-амперной характеристикой N-типа, работа которого основана на туннельном прохождении носителей заряда через потенциальный барьер p-n-перехода. Как известно, вероятность туннельного прохождения частиц через потенциальный барьер растет с уменьшением его ширины. Поэтому для создания туннельных диодов используют p-n-переходы с узкой областью объёмного заряда. Другим требованием к материалу туннельного для диода является необходимость вырождения p- и n- областей. Полупроводники становяться вырожденными при сильном легировании. Уровень Ферми в этом случае расположен в разрешенной зоне. С повышением концентрации примесей уменьшается и ширина области объемного заряда p-n-перехода (при Na=Nd=10 см , d 10 см). Таким образом, сильным легированием областей p-n-перехода достигается вырождение p- и n- полупроводников и малое значение ширины p-n-перехода.

 Эквивалентная схема R туннельного диода может ┌────┐ быть представлена в виде Є────┤ C ├───

───Є (Рис. 3). └─────┘ r L

 Рис. 3

Она состоит из дифференциального сопротивления p-n-перехода R, зарядной ёмкости C, сопротивления потерь r, индуктивности выводов L. Емкость корпуса туннельного диода можно учесть в схеме внешней цепи, поэтому мы её для простоты опустим. Перенос тока в туннельном диоде при V<Vост осуществляется основными носителями, а не неосновными, как в обычных диодах. Скорость распростронения процесса определяется временем релаксации . Это время порядка 10 . . . 10 с и оно не ограничивает частотные свойства прибора. Поэтому в эквивалентной схеме отсутствует диффузионная ёмкость p-n-перехода, а все остальные элементы практически не зависят от частоты.

На основании эквивалентной схемы нетрудно записать выражение для полного сопротивления туннельного диода, а из него определить предельную и собственную резонансную частоту.

Туннельные диоды, благодаря их высокочастотным свойствам, применяються в схемах высокочастотного переключения, а так-же для усиления и генерирования колебаний на сверхвысоких частотах. Схема переключения подобна аналогичной схеме на S-диоде. Для того чтобы нагрузочная прямая пересекала вольт-амперную характеристику в трех точках, сопротивление нагрузки должно быть больше дифференциального сопротивления диода на участке отрицательного сопротивления.

Вследствии большей ширины запрещённой зоны арсенида галлия напряжение срыва в диодах из него (~1 B) выше, чем в диодах из германия (~0, 4 B). Поэтому диоды из арсенида галлия предпочтительнее для использования в переключающих устройствах (в особенности для счетной техники) и в генераторах. Широкая запрещенная зона обуславливает и большую их термостабильность. Германиевые туннельные диоды имеют меньший уровень собственных шумов, что важно для использования в схемах усилителей.