

ВИКИПЕДИЯ

# Диод Ганна

Материал из Википедии — свободной энциклопедии

**Дио́д Га́нна** — тип полупроводниковых диодов, не имеющих в структуре p-n-переходов, используется для генерации и преобразования колебаний в диапазоне СВЧ на частотах от 0,1 до 100 ГГц. Основан на эффекте Ганна — явлении осцилляций тока в многодолинном проводнике при приложении к нему сильного электрического поля, открыт Джоном Ганном в 1963 году.

В отличие от других типов диодов принцип действия диода Ганна основан не на процессах в p-n-переходе, то есть все его свойства определяются не эффектами, которые возникают в местах соединения двух различных полупроводников, а собственными нелинейными свойствами применяемого полупроводникового материала.

В советской литературе диоды Ганна называли приборами с объёмной неустойчивостью или с междолинным переносом электронов, так как активные свойства диодов обусловлены переходом электронов из «центральной» энергетической долины (минимума энергии) в «боковую» долину, где они уже имеют малую подвижность и большую эффективную массу. В иностранной литературе диод Ганна называют TED (*Transferred Electron Device* — прибор с переносом электронов).



Диод Ганна в металлокерамическом корпусе производства СССР на фоне миллиметровой сетки



Условное графическое обозначение в схемах.



Диод Ганна на S-диапазон. Видна заводская упаковка с антистатическими свинцовыми капсулами.

На основе эффекта Ганна созданы генераторные и усилительные диоды, применяемые в качестве генераторов накачки в параметрических усилителях, гетеродинов в супергетеродинных приемниках, генераторов в маломощных передатчиках и в измерительной технике.

## Содержание

### Конструкция и принцип действия

#### Применение

Режимы работы генераторов на диоде Ганна

#### Примечания

#### Литература

#### Ссылки

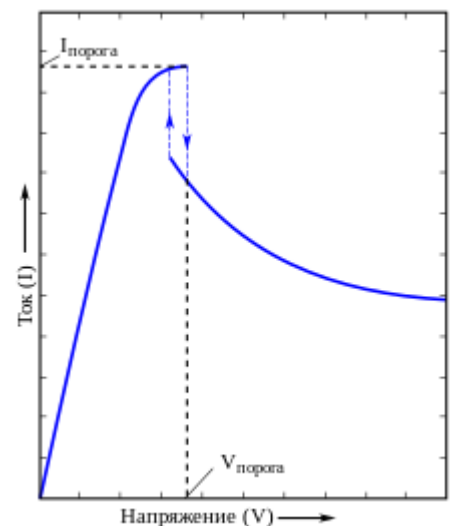
## Конструкция и принцип действия

Диод Ганна традиционно представляет собой прямоугольную пластинку из арсенида галлия с омическими контактами с противоположных граней сторон. Активная часть диода Ганна — длина высокоомного слоя обычно имеет длину от 1 до 100 мкм с концентраций легирующих донорных примесей  $10^{14}$ — $10^{16}$  см<sup>-3</sup>. В этом материале, в зоне проводимости, имеются два минимума энергии, которым соответствуют два состояния электронов — так называемые «тяжёлые» и «лёгкие» электроны. Поэтому с ростом напряжённости электрического поля средняя дрейфовая скорость электронов увеличивается до достижения полем некоторого критического значения, а затем уменьшается, стремясь к скорости насыщения.

Таким образом, если к диоду приложено напряжение, превышающее произведение критической напряжённости поля на толщину слоя арсенида галлия в диоде, однородное распределение напряжённости по толщине слоя становится неустойчиво. Тогда при возникновении даже в тонкой области небольшого увеличения напряжённости поля электроны, расположенные ближе к аноду, «отступят» от этой области к нему, так как менее подвижны, а электроны, расположенные у катода, будут пытаться «догнать» получившийся движущийся к аноду двойной слой зарядов. При движении напряжённость поля в этом слое будет непрерывно возрастать, а вне его — снижаться, пока не достигнет равновесного значения.

Такой движущийся двойной слой зарядов с высокой напряжённостью электрического поля внутри получил название **домена сильного поля**, а напряжение, при котором он возникает — порогового напряжения.

В момент зарождения домена ток через диод максимален. По мере формирования домена ток уменьшается и достигает своего минимума по окончании формирования. Достигая анода, домен разрушается, и ток снова возрастает. Но едва он достигнет максимума, у



Вольт-амперная характеристика диода Ганна

катода формируется новый домен. Частота, с которой этот процесс повторяется, обратно пропорциональна длине кристалла полупроводника, прямо пропорциональна скорости движения домена и называется *пролётной частотой*.

На **ВАХ** полупроводникового прибора наличие падающего участка является недостаточным условием для возникновения в нём СВЧ колебаний, но необходимым. Возникновение колебаний означает, что в кристалле полупроводника развивается неустойчивость. Характер этой неустойчивости зависит от параметров полупроводника (профиля легирования кристалла, его размеров, концентрации носителей и т. д.).

При размещении диода Ганна в резонаторе возможны другие режимы генерации, при которых частота колебаний может быть сделана как ниже, так и выше пролётной частоты. Эффективность такого генератора относительно высока, но максимальная мощность не превышает 200—300 мВт.

Существенно влияние омических (невыпрямляющих) контактов к кристаллу. Для создания низкоомных омических контактов, необходимых для подвода тока для работы диодов Ганна существуют два подхода:

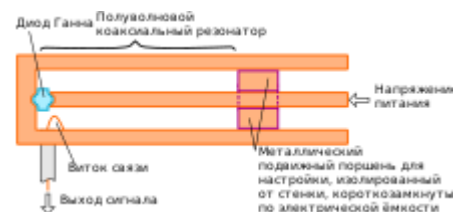
- первый из них заключается в выборе приемлемой технологии нанесения таких контактов непосредственно на высокоомный кристалл арсенида галлия;
- при втором подходе кристалл прибора выполняется многослойным. В диодах с такой структурой на слой высокоомного низколегированного арсенида галлия с электронным типом проводимости наращивают с обеих сторон эпитаксиальные слои низкоомного высоколегированного арсенида галлия с проводимостью n-типа. Эти высоколегированные слои служат переходными подложками от рабочей части кристалла к металлическим электродам.

Помимо арсенида галлия (GaAs) и фосфида индия (InP), используется на частотах до 170 ГГц) при изготовлении диодов используется эпитаксиальное наращивание, для изготовления диодов Ганна также применяется нитрид галлия (GaN). В диодах, изготовленных из этого материала была достигнута наиболее высокая частота колебаний — до 3 ТГц.

## Применение

Диод Ганна может быть использован для создания генератора с частотами генерации от сотен килогерц до единиц терагерц. На частотах ниже 1 ГГц генераторы и усилители на диодах Ганна не имеют преимуществ по сравнению с традиционными генераторами, выполненными на транзисторах, и потому применяются редко. Частота генерации определяется в основном длиной пластинки полупроводника, но может быть перестроена в некотором диапазоне частот, обычно на 20—30 % от центральной частоты. Известны генераторы с диапазоном перестройки частоты 50 %<sup>[1]</sup>.

На частотах использования диодов Ганна неэффективны традиционные колебательные контуры выполненные из катушек индуктивности и конденсаторах со сосредоточенными параметрами, поэтому резонаторы на этих частотах выполняют в виде коаксиальных конструкций, в виде отрезков волноводов или резонаторах на микростриповых линиях.



Генератор на диоде Ганна с коаксиальным резонатором. Подстройка частоты генерации производится перемещением закорачивающего поршня.

Настройка частоты генерации и частоты усиления в таких системах производится как изменением геометрических размеров резонансных полостей, так и в небольших пределах электрически с помощью изменения питающего напряжения.

Диоды Ганна имеет низкий уровень амплитудного шума и низкое рабочее напряжение питания — от единиц до десятков вольт.

Срок службы генераторов Ганна относительно мал, что связано с одновременным воздействием на кристалл полупроводника таких факторов, как сильное электрическое поле и перегрев полупроводникового кристалла прибора выделяющейся в нём мощностью.

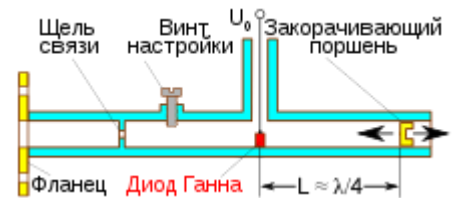
## Режимы работы генераторов на диоде Ганна

Существуют несколько разных режимов использования генераторов на диоде Ганна в зависимости от питающего напряжения, температуры, характера нагрузки: доменный режим, гибридный режим, режим ограниченного накопления объёмного заряда и режим отрицательной проводимости обеспечивающих генерацию в диапазоне частот 1—100 ГГц.

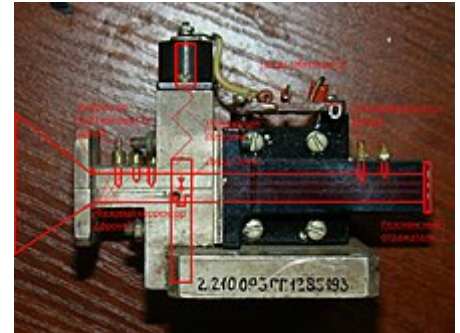
В непрерывном режиме генерации генераторы на диодах Ганна имеют **КПД** около 2—4 % и обеспечивают выходную мощность от единиц милливатт до единиц ватт. При использовании прибора в импульсном режиме с высокой **скважностью** КПД увеличивается в 2—3 раза. Специальные широкополосные резонансные системы позволяют добавить к мощности полезного выходного сигнала высшие гармоники колебаний и служат для увеличения КПД. Такой режим работы генератора называется релаксационным.

Наиболее часто используемым режимом является доменный режим при котором в течение большей части периода колебаний в кристалле существует домен. Доменный режим может быть реализован в трёх различных видах: пролётный, с задержкой образования доменов и с гашением доменов. Переход между этими видами происходит при изменении сопротивления нагрузки и питающего напряжения.

Для диодов Ганна был так же предложен и осуществлен режим ограничения и накопления объёмного заряда. Этот режим имеет место при больших амплитудах напряжения на диоде и на частотах, в несколько раз больших пролётной частоты и при средних постоянных напряжениях на диоде, которые в несколько раз превышают пороговое значение. Однако, существуют определённые требования для реализации этого режима: полупроводниковый



Генератор на диоде Ганна с волноводным резонатором. Подстройка частоты генерации производится перемещением загораживающего поршня, тонкая подстройка производится винтом.



Конструкция гетеродина на диоде Ганна С-диапазона. Применён в МШУ «Обиход».

материал диода должен быть с очень однородным профилем легирования. При этом однородное распределение электрического поля и концентрации электронов по длине образца обеспечивается за счет большой скорости изменения напряжения на диоде.

## Примечания

---

- Carlstrom J. E., Plambeck R. L. and Thornton D. D.* A Continuously Tunable 65-115 GHz Gunn Oscillator, IEEE, 1985 [1] (<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01133036>)

## Литература

---

- *Азаев Н. А., Шишкин Г. Г.* Электронные приборы. Издательство МАИ, 1996.
- *Зи С. М.* Физика полупроводниковых приборов (в 2 книгах). М., Мир, 1984, т. 2, с.226-269.
- *Лебедев А. И.* Физика полупроводниковых приборов. М., Физматлит, 2008.
- *Кулешов В. Н., Удалов Н. Н., Богачев В. М. и др.* Генерирование колебаний и формирование радиосигналов. — М.: МЭИ, 2008. — 416 с. — ISBN 978-5-383-00224-7.

## Ссылки

---

- [Модель диода Ганна \(http://cpp.in.ua/2009/12/model-dioda-ganna/\)](http://cpp.in.ua/2009/12/model-dioda-ganna/) Архивная копия (<https://web.archive.org/web/20101017120659/http://cpp.in.ua/2009/12/model-dioda-ganna/>) от 17 октября 2010 на [Wayback Machine](#) программа с исходным кодом (C++, работает в Windows)
- [Генераторные диоды \(http://www.club155.ru/diods-uhf-generator\)](http://www.club155.ru/diods-uhf-generator) Архивная копия (<https://web.archive.org/web/20111108135914/http://www.club155.ru/diods-uhf-generator>) от 8 ноября 2011 на [Wayback Machine](#)
- [Ганна эффект](#) // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. [А. М. Прохоров](#). — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.
- [Эффект Ганна \(http://www.radioland.net.ua/contentid-362-page1.html\)](http://www.radioland.net.ua/contentid-362-page1.html) Архивная копия (<https://web.archive.org/web/20130617170632/http://www.radioland.net.ua/contentid-362-page1.html>) от 17 июня 2013 на [Wayback Machine](#)

---

Источник — [https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Диод\\_Ганна&oldid=128083025](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Диод_Ганна&oldid=128083025)

---

**Эта страница в последний раз была отредактирована 25 января 2023 в 04:19.**

Текст доступен по лицензии Creative Commons «С указанием авторства — С сохранением условий» (CC BY-SA); в отдельных случаях могут действовать дополнительные условия.

Wikipedia® — зарегистрированный товарный знак некоммерческой организации Фонд Викимедиа (Wikimedia Foundation, Inc.)