

применение получили генераторы Ганна. Осн. элемент генератора, как правило, представляет собой диск (толщиной  $l \sim 1,5-10$  мкм и диаметром  $d \sim 20-150$  мкм), вырезанный из монокристаллов GaAs или InP. На противоположные стороны диска напаяются металлические контакты. Г. д. служит активным элементом цепи СВЧ. Чаще всего такой целью служит *объёмный резонатор*. В зависимости от амплитуды и частоты колебаний поля в резонаторе генератор Ганна может работать в пяти режимах: пролётном, гашения, запаздывания, гибридном и в т. н. ОНОЗ-режиме (ограниченного накопления объёмного заряда). В первых трёх режимах период колебаний поля в резонаторе сравним с временем пролёта домена Ганна от катода до анода. В гибридном режиме период колебаний поля сравним с периодом формирования домена и, как правило, значительно меньше, чем пролётное время. В ОНОЗ-режиме период колебаний значительно меньше времени формирования домена Ганна.

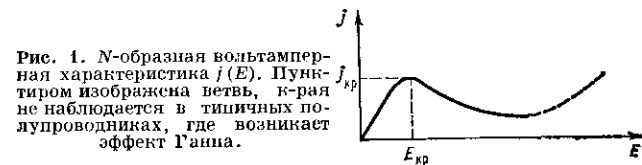
Рабочие частоты генераторов Ганна  $\sim 10-120$  ГГц, к.д.  $\sim 2-10\%$ . Мощность, генерируемая в непрерывном режиме,  $\sim 200$  мВт, в импульсном режиме порядка 200 Вт на частоте  $\sim 10$  ГГц и  $\sim 5$  Вт на частоте  $\sim 60$  ГГц. Уровень шума выше, чем у генераторов на *полевых транзисторах*, но существенно ниже, чем у генераторов на лавинно-пролётных диодах.

Осн. применение генераторов на Г. д. — гетеродины радиолокац. приёмников, генераторы маломощных радиолокац. передатчиков, задающие генераторы в схемах умножения частоты. Логич. приборы на основе Г. д. перспективны вследствие малого времени срабатывания ( $\sim 10$  пс на ячейку), их применение ограничено относительно высоким уровнем потребляемой мощности.

Часто к Г. д. относят более широкий класс приборов, к-рые правильнее было бы называть приборами на *междолинном электронном переходе* (см. *Многодолинные полупроводники*). В них используются свойства не домена Ганна, а др. неустойчивостей, возникающих в полупроводниках в условиях объёмного *отрицательного дифференциального сопротивления*, напр., обогащённого слоя. С использованием таких неустойчивостей также созданы эффективные усилители СВЧ-диапазона, генераторы с частотой генерации до 200 ГГц, бистродействующие логич. ячейки.

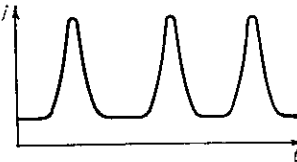
Лит.: Левинштейн М. Е., Пожела Ю. К., Шур М. С., Эффект Ганна, М., 1975; Vulliam P. J., Hobson G. S., Taylor B. C., Transferred electron devices, L.—N.Y., 1972; Sha W. M. P., Grubin H. L., Solomon P. R., The Gunn-Hilsum effect, N.Y.—[a.o.], 1979. М. Е. Левинштейн.

**ГАННА ЭФФЕКТ** — генерация высокочастотных колебаний электрич. тока в полупроводниках с *N*-образной объёмной вольтамперной характеристикой (рис. 1).



Обнаружен в 1963 Дж. В. Ганном (J. V. Gunn) в GaAs и InP с электронной проводимостью. Генерация возникает, если пост. напряжение  $U$ , приложенное к образцу длиной  $l$ , таково, что ср. электрич. поле в образце  $E=U/l$  соответствует падающему участку вольтамперной характеристики (зависимости плотности тока  $j$  от напряжённости электрич. поля  $E$ ), на к-ром дифференц. сопротивление  $dE/dj$  отрицательно (см. *Отрицательное дифференциальное сопротивление*). Колебания тока имеют вид периодич. последовательности импульсов (рис. 2), их частота увеличивается с уменьшением  $l$  (в достаточно длинных образцах как  $l^{-1}$ , см. ниже).

Г. э. наблюдается гл. обр. в т. н. *многодолинных полупроводниках*, зона проводимости к-рых состоит из одной ниж. долины и одной или неск. верх. долин. Подвижность электронов в верх. долинах значительно меньше, чем в ниж. долине. В сильных электрич. полях происходит разогрев электронов (см. *Горячие электроны*) и часть электронов переходит из ниж. долины в верхние, вследствие чего ср. подвижность носителей заряда и электропроводность падают. Это приводит к падению плотности тока с ростом  $E$  в полях, превышающих некое критич. поле  $E_{кр}$ .



Г. э. вызван тем, что в образце в режиме пост. приложения периодически возникает, перемещается по нему и исчезает область сильного электрич. поля, наз. *электрич. доменом* или *доменом Ганна*. Домен возникает потому, что однородное распределение электрич. поля вдоль образца неустойчиво в том случае, когда объёмное дифференц. сопротивление отрицательно. Действительно, пусть в полупроводнике случайно возникло неоднородное распределение концентрации электронов в виде дипольного слоя:

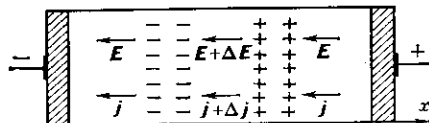


Рис. 3. Разделение зарядов при развитии неустойчивости в образовании домена. Электроны движутся против поля  $E$ .

в одной области концентрация увеличилась, а в другой — ниже по течению электронов — уменьшилась (рис. 3). Между этими заряженными областями возникает дополнит. электрич. поле  $\Delta E$  (как между обкладками конденсатора), к-рое добавляется к внешнему, так что поле внутри дипольного слоя больше, чем вне его. Если дифференц. сопротивление положительно, т. е. ток растёт с ростом поля, то и ток внутри слоя больше, чем вне его. Поэтому, напр., из области с повышенной плотностью электронов они вытекают в большем кол-ве, чем втекают, в результате чего возникшая случайно неоднородность рассасывается. Если же дифференц. сопротивление отрицательное (ток падает с ростом поля), то плотность тока меньше там, где поле больше, т. е. внутри слоя. Первоначально возникшая неоднородность не рассасывается, а, на-



против, нарастает. Растёт и падение напряжения на дипольном слое, а вне его падает (т. к. полное напряжение на образце задано). В конце концов образцу стационарный электрич. домен, движущийся с пост. скоростью. Т. к. домен образован электронами проводимости, он движется в направлении их дрейфа со скоростью  $v$ , близкой к дрейфовой скорости носителей вне домена. На переднем фронте домена — обеднённый (электронами) слой, на заднем — обогащённый слой (рис. 4). Вне домена электрич. поле меньше критич. поля  $E_{кр}$ , благодаря чему новые домены не образуются. Устойчивое состояние образца — состояние с одним доменом.