

Электрич. доменная неустойчивость. Ток  $j$  «разогревает» газ носителей, темп-ра к-рых  $T_n$  становится выше темп-ры решётки  $T$  (см. *Горячие электроны*). Изменение  $T_n$  вызывает изменение времён релаксации. В результате зависимость тока  $j$  от напряжённости  $E$  электрич. поля (вольт-амперная характеристика, ВАХ) становится нелинейной, на ней появляются «падающие» участки, к-рым соответствует отрицат. дифференциальное сопротивление (рис. 4) П. т. т. Возникающая неустойчивость наз. перегретой.

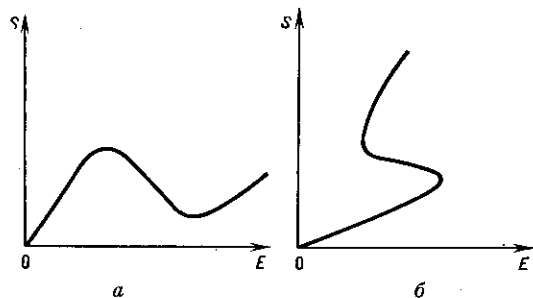


Рис. 4. N-образная (а) и S-образная (б) вольт-амперные характеристики.

Др. причина появления падающего участка на ВАХ — изменение концентрации носителей вследствие зависимости ср. времени их захвата на примесный уровень от  $T_n$  (рекомбинац. неустойчивость). К ВАХ N-типа (рис. 4,а) приводит также «потяжеление» носителей с ростом их энергии. Причины потяжеления: непарабол. зависимость энергии носителей от их импульса; существование наряду с осн. минимумом (долиной) зоны проводимости энергетически более высоких долин, в к-рых эфф. масса носителей значительно больше. При разогреве носители переходят в верх. долины, где их подвижность существенно ниже (междолинная неустойчивость).

Однородное состояние П. т. т. на падающих участках неустойчиво относительно роста флуктуаций, приводящих в конечном счёте к неоднородной структуре. При ВАХ N-типа нарастание флуктуаций приводит к расслоению плазмы с образованием областей (доменов) сильного электрич. поля на фоне слабого поля в остальной части образца. Эти домены могут быть как локализованными около катода или анода (или у неоднородностей образца), так и движущимися (от катода к аноду в случае электронной плазмы) со скоростью порядка дрейфовой скорости электронов в электрич. поле домена. Зарождение движущегося домена на катоде и гибель его на аноде приводят к осцилляциям напряжения на образце (*Ганна эффект*).

При ВАХ S-типа (рис. 4,б) нарастают флуктуации, приводящие к шнурованию тока. С ростом тока происходит расширение токового шнура вплоть до заполнения им всего поперечного сечения образца. Поперечное магн. поле вызывает движение токового шнура в поперечном направлении с «гибелью» его на поверхности образца и последующим «зарождением» на противоположной поверхности. В биполярной горячей плазме ВАХ не имеет падающего участка, т. к. изменение концентрации носителей при их разогреве маскирует изменение их подвижности (к-рое при неизменной концентрации приводило бы в однородном случае к отрицат. дифференц. сопротивлению). В результате образуются многоншуровые и (или) многодоменные структуры.

**Рекомбинационные волны.** Кроме свободных электронов и дырок, полупроводник содержит носители, захваченные глубокими примесными центрами, причём времена жизни электронов  $\tau_e$  и дырок  $\tau_d$  относительно их захвата различны. В результате, начиная с нек-рого порогового значения  $E_{\text{п}}$  электрич. поля, в образце возникают волны концентраций свободных и связан-

ных носителей заряда, а также электрич. поля, распространяющиеся либо вдоль направления движения осн. носителей, либо в противоположную сторону. При  $E > E_{\text{п}}$  помимо стоячей волны колеблющейся концентрации носителей образуется приконтактный домен сильного поля, на к-ром падает б. ч. напряжения.

Винтовая неустойчивость развивается в пространственно неоднородной биполярной плазме полупроводников, помещённой в параллельные друг другу электрич. (токовое) и магн. поля, начиная с нек-рого порогового значения произведения  $EN$ . При нестрогой параллельности  $E$  и  $H$  за счёт поперечной составляющей  $H$  возникает магнитоконцентрац. эффект (см. выше). Развитие этой неустойчивости приводит к генерации образцом электрич. колебаний во внеш. цепи.

Пространственно-временные структуры, образующиеся вследствие развития неустойчивости П. т. т., характеризуются непрерывным притоком в неё энергии от внеш. источника и непрерывной её диссипацией во внеш. среду. К диссипативным структурам приводят помимо токовых неустойчивостей неустойчивости под воздействием интенсивного эл.-магн. излучения, интенсивного потока тепла при большом градиенте  $T$  и др. Общим во всех случаях является существование критич. значения параметра, характеризующего уровень возбуждения П. т. т. (ток, мощность излучения,  $\Delta T$  и т. п.).

Переход П. т. т. в результате неустойчивости в состояние диссипативной пространственно-временной структуры может быть описан на языке неравновесного фазового перехода. Как правило, с изменением уровня возбуждения П. т. т. испытывает неск. неравновесных фазовых переходов, в результате к-рых одни диссипативные структуры заменяются другими. Примерами этих структур являются колебания концентрации носителей и (или)  $T$ . Часто эти колебания сопровождаются изменением тока, проходящего через П. т. т. (в случае токовых неустойчивостей), так что П. т. т. в сочетании с внеш. электрич. цепью выступает как генератор электрич. колебаний. Др. примером служит *инжекционный лазер*, где в результате инжекции электронов и дырок создаётся биполярная плазма высокой плотности с инвертиров. заполнением электронным состоянием в зоне проводимости по отношению к валентной зоне. Возникновение когерентного эл.-магн. излучения может быть описано как неравновесный фазовый переход.

Др. результатом развития неустойчивости могут быть статич. диссипативные структуры в виде распределения параметров П. т. т. в пространстве (напр., периодического). Элементами пространств. структур обычно являются домены и доменные стенки. В пространственно-временных структурах происходят движение доменов и доменных стенок, их колебания около нек-рых положений равновесия, пульсации параметров плазмы в домене и размеров домена. Домены Ганна и шнуры — примеры диссипативных структур.

Развитие неустойчивостей иногда приводит к неупорядоченным (стохастич.) структурам. Начиная с нек-рого высокого уровня возбуждения, П. т. т. переходит в состояние, к-рое может быть описано в вероятностной форме. Напр., генератор периодич. колебаний становится генератором неравновесного шума с большой амплитудой. Описание упорядоченных и стохастич. пространственно-временных структур происходит на основе решения одной и той же нелинейной динамич. задачи (см., напр., *Странный аттрактор*).

Лит.: Пайнс Д., *Элементарные возбуждения в твердых телах*, пер. с англ., М., 1965; Платцман Ф., Вольф П., *Волны и взаимодействия в плазме твердого тела*, пер. с англ., М., 1975; Пожеля Ю. К., *Плазма и токовые неустойчивости в полупроводниках*, М., 1977; Владимиров В. В., Волков А. Ф., Мейлихов Е. З., *Плазма полупроводников*, М., 1979; Вонсовский С. В., Кацнельсон М. И., *Квантовая физика твердого тела*, М., 1983; Марч Н., Паринелло М., *Коллективные эффекты в твердых телах и жидкостях*, пер. с англ., М., 1986. Ф. Т. Васюк, Э. С. Грибников.