

к-рой положит. ион захватывает два электрона, превращаясь в отрицат. ион. П. и. возможна вблизи поверхности металла. При этом ион нейтрализуется электроном металла.

П. и. играет существенную роль в балансе частиц высокотемпературной плазмы; определяет торможение пучка атомов, инжектированных в плазму того же элемента, подвижность ионов в соевств. газе, свойства газоразрядной плазмы, созданной в атомном газе, и т. д.

Лит.: Мотт Н., Мессе Г., Теория атомных столкновений, пер. с англ., [3 изд.], М., 1969; Никитин Е. Е., Смирнов Б. М., Медленные атомные столкновения, М., 1990.

Б. М. Смирнов.

**ПЕРЕЗАРЯДНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ (танDEM)** — высоковольтный ускоритель, в к-ром благодаря перезарядке ускоряемых частиц (изменению знака, а иногда и величины заряда) одно и то же ускоряющее напряжение применяется дважды: отрицат. ионы ускоряются при движении к положительно заряженному высоковольтному электроду, а положит. ионы, образовавшиеся после перезарядки, — при движении от него к электроду с

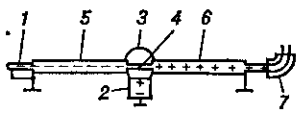


Схема перезарядного ускорителя: 1 — источник отрицательных ионов; 2 — высоковольтный генератор; 3 — высоковольтный электрод; 4 — перезарядная мишень; 5, 6 — пучки отрицательных и положительных ионов; 7 — сепаратор.

нулевым потенциалом. Использование перезарядки позволяет при том же напряжении генератора увеличить энергию протонов вдвое, а энергию более тяжелых частиц в неск. раз. При этом облегчаются питание и обслуживание ионного источника, к-рый находится под нулевым потенциалом. Образующиеся после перезарядки частицы с разл. зарядами ускоряются до разных энергий, поэтому для их разделения после ускорения необходима сепарация, осуществляемая магнитом с полем, перпендикулярным направлению движения частиц. Энергия частиц на выходе П. у. равна  $\mathcal{E} = eU(n_- + n_+)$ , где  $U$  — напряжение высоковольтного генератора,  $n_-$  и  $n_+$  — заряды частиц до и после перезарядки (обычно  $n_- = 1$ ). Добавление ещё одного генератора с отрицат. полярностью напряжения (двойной тандем) повышает энергию частиц до  $\mathcal{E} = eU(2n_- + n_+)$ . Типичные величины напряжений, применяемых в П. у., ~10—20 МВ, в наиб. крупных П. у. — 25—30 МВ.

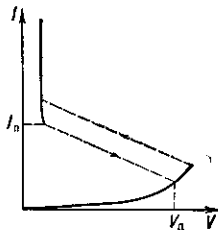
Идея использовать перезарядку для увеличения энергии ускоряемых частиц предложена У. Х. Беннеттом (W. H. Bennett) в 1935, однако она была реализована лишь в 1958 после разработки эфф. источников отрицат. ионов и перезарядных устройств — мишеней. Перезарядная мишень представляет собой трубку, в к-рую подаётся газ, или плёнку твёрдого вещества (углерода) толщиной неск. мкг/см<sup>2</sup>. Применение твёрдых мишеней позволяет получить положит. ионы тяжелых элементов с более высокой зарядностью ( $n_+ = 7-10$ ). Для дополнит. обдирки ионов после перезарядки на одном из участков ускорит. тракта может быть установлена ещё одна мишень.

Лит.: Комар Е. Г., Основы ускорительной техники, М., 1975; «Nuclear Instruments and Methods», 1974, т. 122, № 1/2 (спец. выпуск).

М. П. Свинын.

**ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЭФФЕКТЫ** — скачкообразный обратимый переход полупроводника (или полупроводниковой структуры) из высокоомного состояния в низкоомное под действием электрич. поля, превышающего пороговое значение  $E_{\text{п}} = 10^4-10^6$  В/см. П. э. наблюдаются в полупроводниках, у к-рых вольт-амперная характеристика (ВАХ) имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Такой характер ВАХ обусловлен формированием электрич. доменов (для ВАХ N-типа; см. Ганна эффект, Ганна диод) или токовых шнуров (для ВАХ S-типа; см. Шнурованье тока).

Термин «переключение» возник в связи с обнаружением быстрого ( $10^{-11}$  с) и большого (4-го порядка) изменения проводимости халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) сложного состава (рис.). П. э. в ХСП впервые наблюдались в 1961—62 А. Д. Пирсоном (А. D. Pearson), Б. Т. Ко-



вольт-амперная характеристика халькогенидных стеклообразных полупроводников:  $I$  — сила тока;  $V$  — напряжение.

ломийцем, С. Р. Овшинским (патент США, 1963). В патентной литературе П. э. в ХСП наз. эффектом Овшинского (см. Аморфные и стеклообразные полупроводники).

В плёнках ХСП с двумя металлч. электродами П. э. наблюдаются при постоянном, переменном и импульсном напряжении. Пороговые ток  $I_{\text{п}}$  и напряжение  $V_{\text{п}}$  не зависят от полярности напряжения, а также от темп-ры  $T$  в диапазоне 2—250 К; при повышении  $T$  они претерпевают скачок:  $I_{\text{п}}$  возрастает, напряжение падает и затем слабо изменяется с  $T$ , вплоть до размягчения материала. Аналогично зависит  $I_{\text{п}}$  и  $V_{\text{п}}$  от длительности импульса напряжения  $V$ , и скачок параметров наблюдается при длительности импульсов, близкой ко времени диэлектрич. релаксации материала. В зависимости от амплитуды импульсов переключение может возникать как на переднем фронте импульса (длительность 50 пс), так и с задержкой. В последнем случае в образце формируется канал, в к-ром пороговые условия реализуются раньше, чем в остальной части образца. Трансформация канала в токовый шнур происходит скачком, когда канал теряет флуктуац. устойчивость (см. Флуктуации электрические), а плотность тока вне канала достигает критич. величины. Если плотность тока вне канала не достигает критич. величины, преобразование канала в шнур происходит плавно (П. э. «вырождаются»).

Дифференц. сопротивление образца с токовым шнуром близко к 0. Плотность тока в шнуре «насыщается» при величине порядка  $\sim 10^4$  А/см<sup>2</sup>. Сечение шнура практически линейно зависит от тока. Время восстановления пороговых параметров после снятия напряжения определяется восстановлением однородности образца и является линейной ф-цией расстояния между электродами. Для образцов длиной  $\sim 0,5$  мкм и сечением  $10^{-10}$  см<sup>2</sup> это время сравнимо со временем переключения. Энергия, затрачиваемая на переключение таких образцов, может достигать 10—15 Дж при  $T = 300$  К. Уменьшение  $V_{\text{п}}$  в течение первых переключений обусловлено несовершенством стеклообразных плёнок и контактов.

В кристаллич. полупроводниках с S-образной ВАХ (при одинаковых с ХСП параметрах) П. э. отсутствуют. Поэтому механизмы П. э. в ХСП связывают с влиянием разупорядочения. Однозначно механизм П. э. в ХСП не установлен.

Практически неограниченное число переключений ( $>10^{14}$ ) и стойкость ко всем видам внеш. воздействий, а также возможность управления фазовыми трансформациями в токовом шнуре (кристаллизация) обеспечивают использование П. э. в стабилизаторах напряжения, для защиты интегральных схем от перенапряжения, в переключателях СВЧ-сигналов, в датчиках давления и темп-ры, генераторах сигналов спец. формы, операционных усилителях и т. п.

Лит.: Костылев С. А., Шкут В. А., Электронное переключение в аморфных полупроводниках, К., 1978; Adler D., Henisch H. K., Mott N., The mechanism of threshold switching in amorphous alloys, «Rev. Mod. Phys.», 1978, т. 50, р. 209; Madan A., Shaw M. P., The physics and applications of amorphous semiconductors, Boston—[a.o.], 1988.

В. Б. Сандомирский.