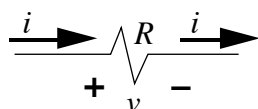


E3. Oinarrizko elektronika

Material erdieroaleen azterketa

• Elektronikaren beharra

Osagai elektrikoek (erresistentziak, kondentsadoreak...) portaera finkoa dute. Erresistentzietan, adibidez, Ohm-en legeak dioen bezala, tentsioa eta korrontea zuzenki proportzionalak dira beti, proportzionaltasun-konstantea R izanik.



Portaera finkoa: i/v proportzionalak

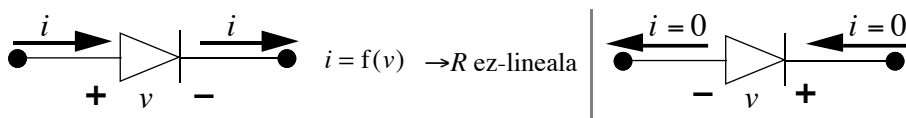
Antzeko zerbait gertatzen da ikusi ditugun beste elementuekin: kondentsadoreak, hariak...

Kasu askotan hau ez da nahikoa, eta beharrezkoa izaten da elementu baten portaera baldintza batzuen arabera aldatu ahal izatea; portaera kontrolatu ahal izatea hain zuzen ere. Helburu honekin sortu zen Elektronika, eta baita azken urteotan izugarri garatu ere. Garapen honen ondorioak dira gaur egun ezinbestekoak gertatzen zaizkigun gailu batzuk, hala nola irratia, kalkulagailua, telebista, konputagailua...

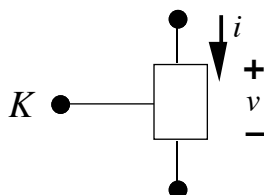
Garapena abiada bizian joan da. Hogeita hamarreko hamarkadan hasi zen balbulen elektronikarekin. Balbula hauek oso handiak ziren eta potentzia handia xahutzen zuten. Denaren den, horrelako balbulekin eraiki ziren lehenengo irratizaharrak. Garai hartako ordenagailu batek (oso eragiketa sinpleak egiteko gai besterik ez zena) gela oso bat behar zuen, eta eraikin bat berotzeko adina energia kontsumitzen zuen. Iraultza 40eko hamarkadan iritsi zen erdieroaleen elektronikarekin. Pixkanaka-pixkanaka, transistore bipolarrak eta MOS transistoreak agertu ziren, eta hortik aurrera zirkuitu integratuak (milaka transistore mm^2 batean). Erdieroaleen elektronikak berehala beharrezko lekua eta kontsumitutako potentzia nabarmenki txikiagotzea ekarri zuen.

Aztertuko ditugun osagai elektronikoak bi motakoak izango dira.

Biterminalak: bi terminal edo hankatxo baino ez dituztenak. Portaera, erabat kontrolagarria ez den arren, ez da lineala, eta aukera berriak ematen ditu. Diodoa elementu elektronikoko biterminala da. Diodoak noranzko bakarrean utziko du korrontea pasatzen. Korrontea noranzko batean pasatzen denean, erresistentzia ez-lineal baten moduan funtzionatuko du. Korrontea kontrako noranzkoan badator, berriz, diodoak ez dio pasatzen utziko. Esan genezake, beraz, korrontea tentsioaren bidez nolabait kontrolatzen dugula.



Triterminalak: izenak dioten eran, hiru terminal edo mutur dituztenak dira hauek. Hiru terminal horietako bat kontrol-terminala izango da, elementu triterminalaren funtzionamendua kontrolatzeko balio duena, hain zuzen ere. Transistoreak elementu triterminalak dira eta banan-banan edo milioika material puxka berean integraturik (mikroprozesadoreen kasuan adibidez) topa ditzakegu.

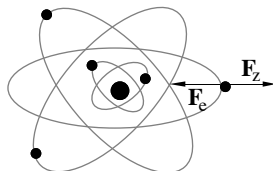


Gaur egungo elektronika erdieroaleetan oinarritzen da; eta erdieroaleen funtzionamenduaren funtsa, atomoaren egitura da. Hori hobe ulertu ahal izateko, zertxobait ikusiko dugu atomoari buruz.

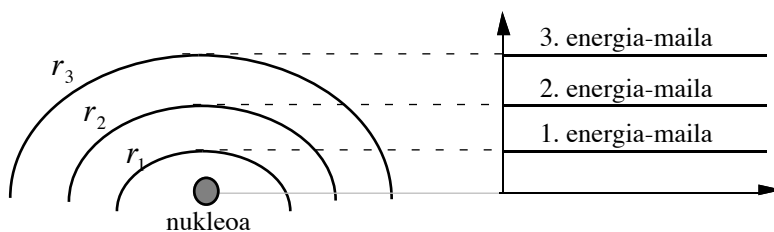
• Bohr-en eredu atomikoa

Bohr-en eredu atomikoak dioenez, atomoan bi atal nagusi bereiz ditzakegu:

1. Nukleoa, non protoiak eta neutroiak dauden, hau da, karga positiboa eta masa.
2. Karga negatiboa, nukleoaren inguruan orbita eliptikoetan biratzen ari diren elektroien multzoa.



Elektroiek orbita jakin batean iraun dezaten, indarren arteko oreka ematen da, nukleoak sortzen duen erakarpen-indarraren eta indar zentrifugaren arteko oreka, hain zuzen ere. Erradioa zenbat eta handiagoa izan, hainbat eta eragin txikiagoa izango du nukleoak elektroien gainean eta, ondorioz, indar zentrifugua, eta honekin batera abiadura ere, txikiagoa izango da. Eredu grabitatorioko puntu batean egoteagatik elementu batek energia potentziala duen bezala, elektroiei, orbita jakin batean egoteagatik, energia-maila jakina dagokie.



Elektroi bat orbita txikiago batetik orbita handiago batera pasatzen denean, energia potentziala irabazten du; kanpo-fenomeno batzuk, beroak, argiak eta tentsioak, adibidez, jauzi hori gertatzea eragin dezakete. Lurreko objektuekin gertatzen den antzera, kasu honetan elektroiak energia potentzial handiagoa du, nukleotik gehiago urrundu delako. Dena den, orbita bakoitzeko elektroiek ez dute energia berdina; hau dela eta, orbita edo geruza bakoitza azpigeruzetan banatzen da.

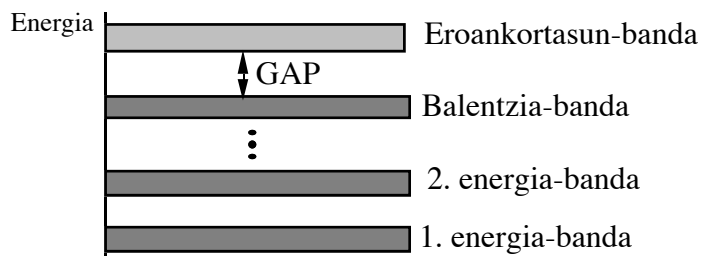


Atomoak kanpoko indar baten eragina jasaten duenean, nukleotik gertu dauden geruzek ez dute aldaketarik jasaten, oso egonkorak baitira. Kanpoaldeko geruzek, ordea, eragina nozitzen dute, eta zenbat eta handiagoa izan nukleorainoko distantzia, hainbat eta txikiagoa izango da geruza horietako elektroiak atomotik bereizteko behar den indarra. Horregatik, elektronikaz aritzean, interesgarrienak azken geruzetako elektroiak dira, hauek baitira atomoaren portaera desberdinen oinarri.

Atomoa isolatuta dagoenean agertzen den azken geruza edo orbitari, balentzia-orbita deritzo eta nukleoaren eragin txikiena jasotzen duena da (bertako elektroiek balentzia-elektroiak dira). Kanpo-eragile batek balentzia-orbitako elektroia aska dezake, elektroia hau elektroia librea izatera pasaraziz.

• Energia-bandak

Orain arte aipatutakoa atomoak isolatuta daudenean gertatzen dena da; baina atomoak multzoka agertzen direnean, kristaletan adibidez, elektroiek bakoitzak bere atomoaren aldarapen/erakurpen-indarrak jasateaz gain, inguruko atomo guztienak ere jasaten ditu. Atomo bakoitzaren posizioa desberdina denez, ez daude bi elektroiek indar berdinaren eragina nozitzen dutenak. Hori dela eta, energia-mailak gorago aipatu bezain zehatzak ez direla esan dezakegu; horrela, energia-bandak agertzen dira.



Energiaren balio guztiak ez dira posibleak, hau da, elektroiek energiaren balio desberdinak hartzen dituzten arren, ezin dute edozein balio hartu. Balio debekatu hauei banda debekatuak deritze.

Balentzia-bandan daude atomoari atxikita dauden azken geruzako elektroiak. Kanpoko eragile batek askatutako elektroik askeak, ordea, eroankortasun-bandan daude, zeren, askeak izateagatik mugitu daitezkeenez gero, korrante elektrikoa eroan baitezakete. Hots, eroankortasun-banda nukleotik urrunen geratzen dena da, eta bertan dauden elektroiak, elektroik askeak direla esan daiteke, ez baitute nukleoaren eraginik nabaritzen eta korrantea sortzeko mugi baitaitezke.

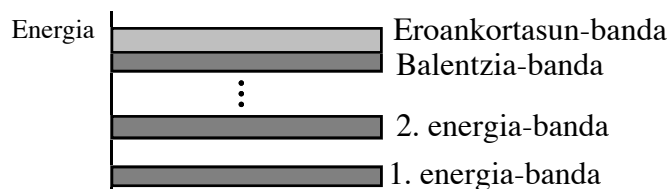
Balentzia-bandaren eta eroankortasun-bandaren artean dagoen banda edo zona debekatuari GAP deritzo eta eV-etan (elektroi-volt) neurtzen da. (eV-a, definizioz, elektroik batek volt bateko potentzial-diferentzia gainditzeko behar duen energia da.)

• Materialen sailkapena

Energia-bandak kontuan hartzen baditugu, material solidoak talde desberdinetan bana ditzakegu.

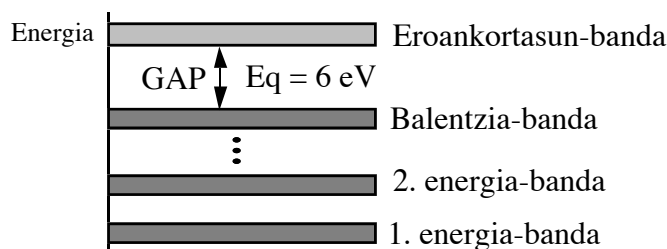
Eroaleak:

Metalak, azken orbitan (balentzia-orbitan, hain zuzen ere), elektroik gutxi izaten dituzten atomoak dira, elektroik horiek askatzea oso erraza izanik. Horregatik, metal-atomoak solido bat osatzeko hurbiltzean eroankortasun-banda balentzia-bandari gainjarrita geratzen da. Hori dela eta, tenperatura normaletan eroankortasun-bandan elektroik aske asko dago eta, gainera, balentzia-bandako elektroik-kopuru handi batek erraz lortzen du eroankortasun-bandara jauzteko behar adina energia. Ondorioz, solidoari potentzial-diferentzia bat ezartzen badiogu elektroiak mugitu egiten dira, korrantea sortuz. Hauxe da metalak eroaleak direla esatearen arrazoia.



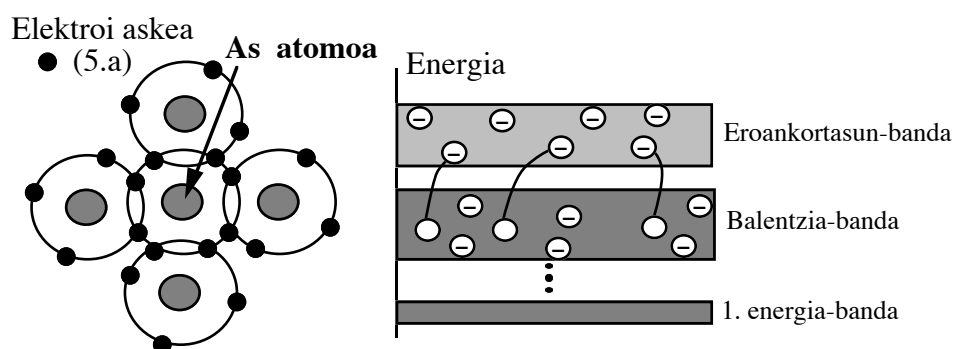
Isolatzaileak:

Dielektriko edo isolatzaileetan eroankortasun- eta balentzia-banda, banda debekatu zabal batez bereizita daude. Hau dela eta, balentzia-bandako elektroiek ezingo dute eroankortasun-bandara jauzi eta eroankortasun-banda ia hutsik egongo da. Balentzia-banda nahiko beteta duten atomoetan, atomo nahiko egonkorretan, gertatzen da hau, eta eroankortasuna mesprezagarria da.

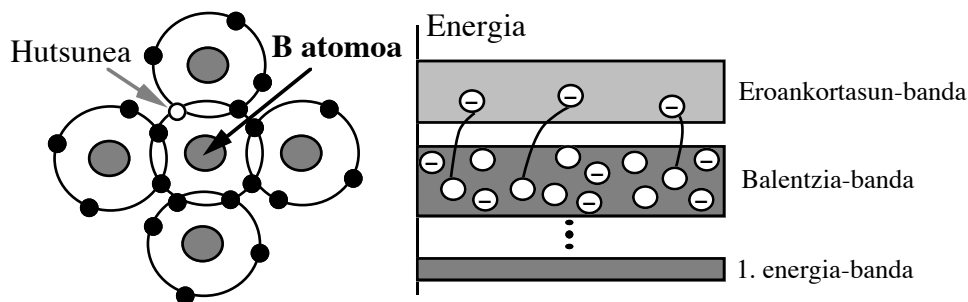


N motako erdieroaleak: Balentzia-orbitan bost elektroi dituzten atomoak gehitzen dira silizio-kristal batean. Lehen aipatu den eran, lehenik kristal purua sortu behar da, eta ondoren kutsatu. Gehitzen diren elementuak taula periodikoko V. taldekoak dira: N, P, As, Sb eta Bi; erabilienak P eta As izanik. Hauei ezpurutasun emale deritze, elektroi "askeak" ematen baitituzte.

Adibidez As-ak bere azken geruzan bost elektroi ditu, hauetako lau, inguruko lau silizio-atomorekin konpartitzen ditu, baina bosgarrena libre geratzen da.



P motako erdieroaleak: Balentzia-orbitan hiru elektroi dituzten atomoak gehitzen dira Si-kristalean. Hemen ere, noski, lehenik silizio-kristal purua sortu eta ondoren kutsatu egin behar da. Gehitzen diren elementuak taula periodikoko III. taldeko elementuak dira: B, Al, Ga eta In, hain zuzen ere, erabilienak B eta Ga izanik. Atomo hauei ezpurutasun hartzaile deritze, kristal puruan zeuden elektroi aske batzuk "hartzen" baitituzte gehiegizko hutsuneak betetzeko. Atomo hauek azken geruzan dituzten hiru elektroiak inguruko hiru silizio-atomorekin konpartitzen dituzte. Kasu honetan hutsune bat agertzen da lotura kobalentean; hots, egonkortasuna lortzeko, elektroi bat falta da.

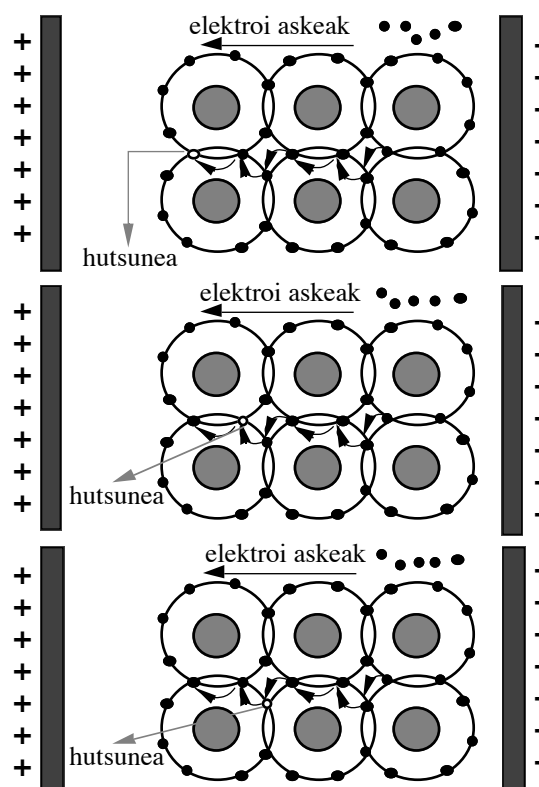


Eroankortasuna erdieroaleetan:

Material eroale baten borneen artean potentzial-diferentzia bat ezartzen badugu, korrontea igaroko da, elektroi askeak eremu elektrikoaren kontrako noranzkoan higituko baitira. Azter dezagun orain erdieroale batean zer gertatzen den.

Eroankortasun-bandan: Elektroi askeak, eroankortasun-bandan daudenak hain zuzen ere, eremu elektrikoaren kontrako noranzkoan higitzen dira, eremuak elektroien gainean egiten duen indarra dela eta.

Balentzia-bandan: Ereku elektrikoak elektroi guztien gainean eragiten du, bai elektroi askeen gainean eta baita lotuta dauden gainean ere. Ereku elektriko honek nahiko indar badu, gerta daiteke silizio-kristaleko balentzia-bandako elektroi bat bere posiziotik mugitzea eta balentzia-bandako hutsune batekin birkonbinatzea (hutsune batera higitzea, bera zegoen lekuan hutsune berri bat sortuz, hain zuzen ere). Kasu honetan, elektroiak ereku elektrikoaren kontrako noranzkoan higituko dira eta hutsuneak, berriz, eremuaren noranzko berdinean.



Erdieroaleetan, beraz, bi motatako korronteak agertzen dira: alde batetik, eroankortasun-bandan ematen den elektroi askeen mugimendua, eta, beste aldetik, balentzia-bandan ematen den elektroi lotu eta hutsuneen mugimendua. Izan ere, horixe da erdieroaleen bereizitasuna. Eroaleetan, metaletan adibidez, elektroi askeak bakarrik higitzen dira, elektroi lotuak sekula ez. Erdieroaleetan, berriz, korronte osoa elektroiek sortutakoa eta hutsuneek sortutakoa batuz kalkulatzeko da, $I = I_e + I_h$, eta hau kontrolagarria da potentzial-diferentzia aldatzean, hutsuneen kopurua eta elektroi askeen kopurua ere aldatzen direlako: hots, kontrolagarriak dira. Korrontearen kontrolagarritasun hori da, hain zuzen ere, elektronikak erdieroaleak erabiltzearen arrazoia.

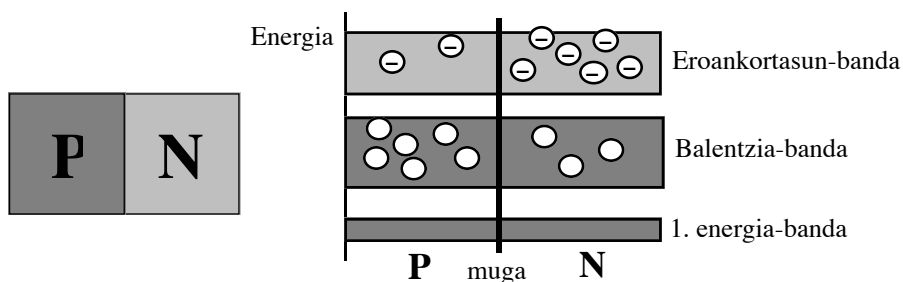
P motako erdieroale batean, hutsune kopurua ugaria denez, korrontearen sortzaile nagusiak edo eramale ugariak hutsuneak izango dira eta eramale urrienak, berriz, eroankortasun-bandako elektroiak. N motako erdieroaleetan, ordea, eramale ugariak elektroiak dira eta eramale urrienak, berriz, hutsuneak.

PN juntura

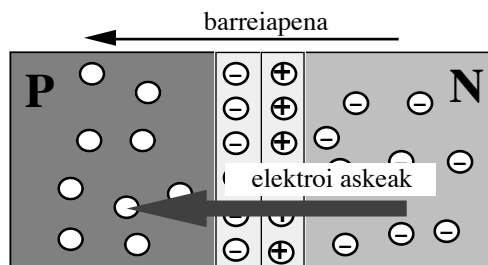
• PN juntura kanpoko polarizaziorik gabe

Orain arte azaldutako N eta P motako erdieroaleek, besterik gabe erabiliko bagenu, ikatzezko erresistentzia batek duen portaeraren antzekoa edukiko lukete. Baina kristal bat kutsatzen bada, erdia P motakoa eta beste erdia N motakoa izan dadin, ezaugarri bereziak sortzen dira. Mota honetako kristalak erabiltzen dira bai diodoetan, bai transistoreetan eta baita zirkuitu integratuetan ere.

Azter dezagun P motako edieroale-zati bat eta N motako beste bat elkartzean gertatzen dena. Horretarako, gogora dezagun P motako eskualdean balentzia-bandako hutsuneak direla ugariak, eta N motakoan, berriz, eroankortasun-bandako elektroiei askeak.



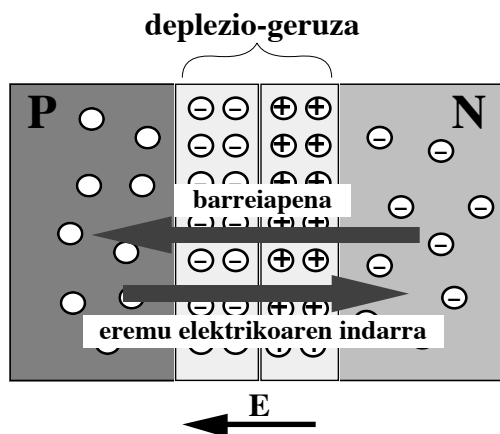
Elektroi askeen artean sortutako aldarapen-indarrak direla eta, elektroiei edozein noranzkotan higitzen dira. P eta N motako material-puxketan, elektroiei askeen kontzentrazioak oso desberdinak izanik, kontzentrazioak berdintzeko joera dela eta, N aldean eramale ugariak diren elektroiei aske batzuk PN juntura (muga, alegia) zeharkatuko dute, P aldera pasatzeko; mugimendu horri barreiapena deritzo. N aldeko elektroiei aske bat P eskualdean sartzen denean, honetan dagoen hutsune-kontzentrazio altua dela eta, berehala elektroiei aske izateari utziko dio hutsune horietako batean eroriz; elektroiei askea balentzia-elektroi bihurtuko da, eta hutsunea desagertu egingo da; honi birkonbinaketa esaten zaio. Hau gertatzen den bakoitzean, bi ioi sortzen dira, bat junturaren alde bakoitzean: N aldea utzi duen elektroiei aske V. taldeko atomo bat positiboki kargatuta utzi du, eta elektroiei hori jaso duen P aldeko atomoa, berriz, ioi positibo bihurtu da. Lotura kobalenteak direla eta, ioi horiek finkoak dira, eta ezin dira higitu.



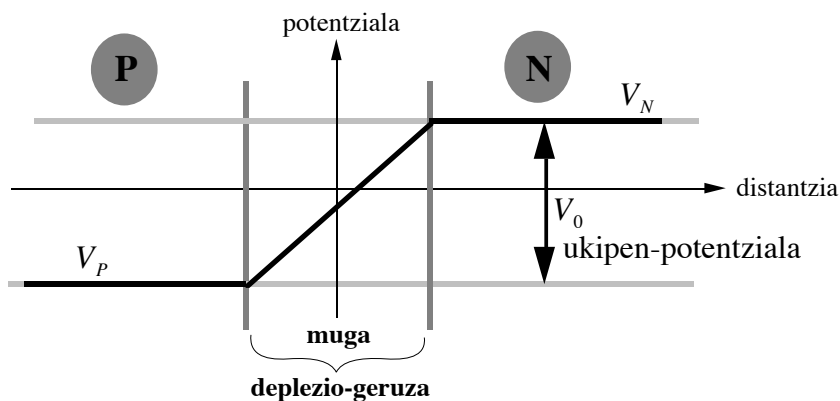
Barreiapenaren eraginez PN junturaren bi aldeetan sortutako karga finkoak direla eta, eremu elektriko bat sortuko da, karga positibotik negatibora zuzenduta.

Beraz, bi fenomeno gertatzen ari dira aldi berean. Alde batetik, elektroiei askeen kontzentrazio-diferentzia dela eta, barreiapena gertatzen da N aldetik P aldera eta, ondorioz, junturaren bi aldeetako ioi edo karga finkoen kopuruaren hazkundera. Beste aldetik, barreiapenak eragindako ioi edo karga finkoen kopuruaren hazkundera horrek eremu elektrikoaren areagotzea dakar, eta, hori dela eta, eremu horrek elektroiei barreiapenaren kontrako noranzkoan egiten dien indarra ere handiagotuko da; hau da, zenbat eta elektroiei gehiago barreiatu, hainbat eta eragozpen handiagoa izango dute N eskualdetik P eskualdera pasatzeko.

Une batetik aurrera elektroiei askeek ezin izango dute eremuaren indarra gainditu, eta barreiapena amaitu egingo da, oreka lortuz. PN junturaren inguruan, erabat lotuta dauden ioi positiboak eta negatiboak deplezio-geruza osatuko du. Deplezio-geruzak hesi gisa jokatzen du, eta potentzial-langa (banda) ere esaten zaio.

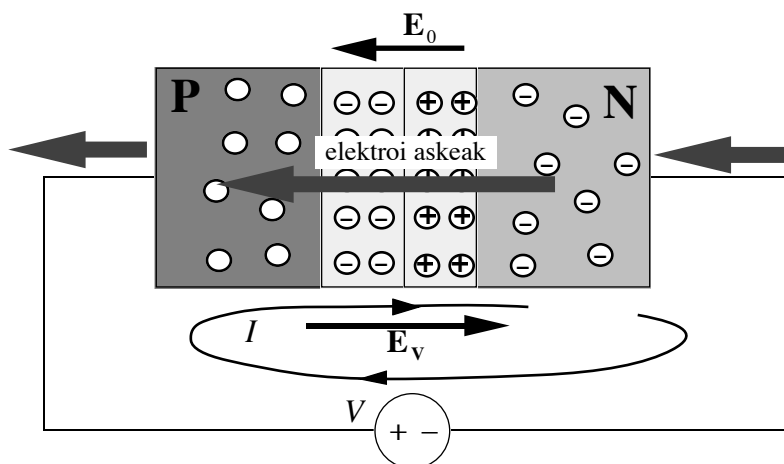


Zona positiboaren eta negatiboaren artean, ukipen-potentzial izena hartzen duen potentzial-diferentzia sortzen da. Potentzial-diferentzia, fabrikazio-prozesuaren menpekoea izan ohi da; siliziozko erdieroaleetan 0,7 V-ekoa izan ohi da, eta germaniozkoetan, berриз, 0,3 V-ekoa.

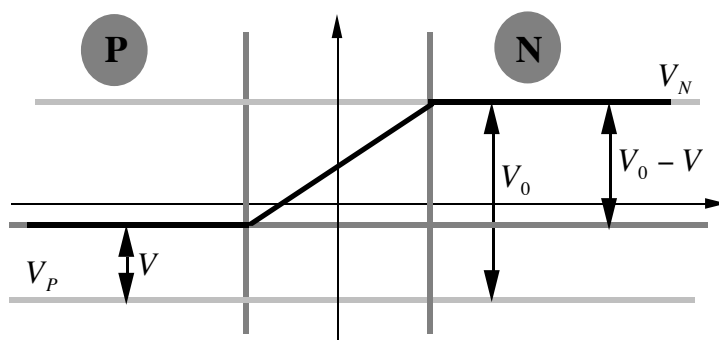


• PN juntura zuzeneko polarizazioan

PN juntura bat zuzeneko polarizazioan edo zuzenki polarizatuta (Z.P.) dago junturari ezarritako tentsioaren alde positiboa P eskualdearekin eta tentsioaren alde negatiboa N eskualdearekin konektatuta daudenean, edo, beste modu batera esanda, korrontea P eskualdetik sartu eta N eskualdetik irteten denean.



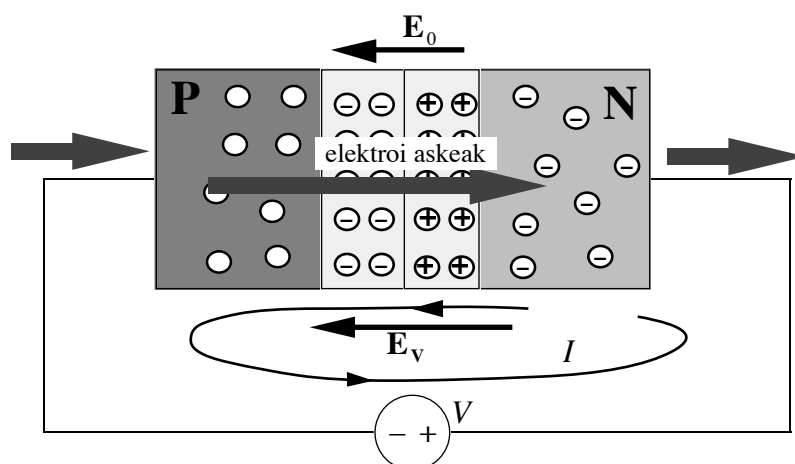
Tentsio-sorgailuak N aldeko elektroi askeak PN junturarantz bultzatzen ditu, eta elektroi horiek juntura zeharkatzeko adina energia izango dute; hots, potentzial-langa gainditu ahal izango dute, kanpoko potentzial-diferentziaren eraginez. Beraz, kanpotik ezarritako potentzial-diferentziaren bidez, deplezio-geruza estuagotu egiten da; edo, beste modu batera esanda, P eskualdearen potentziala handiago egiten da, kanpoko tentsio-sorgailuak junturaren berezko eremu elektrikoaren (E_0) kontrako noranzkoan dagoen eremu elektrikoa (E_V) sortzen baitu.



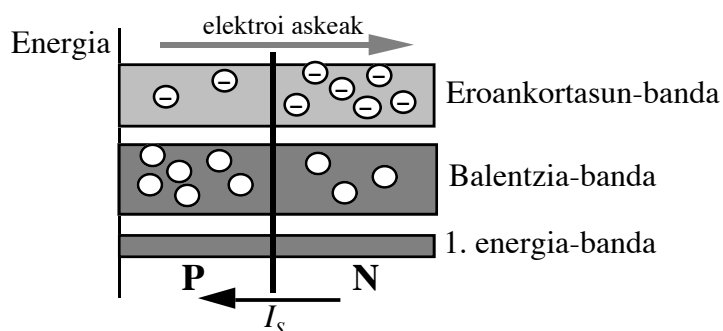
V kanpoko tentsioa handituz doan heinean potentzial-langa txikiagotuz doa. $V = V_0$ denean, potentzial-langa deuseztu egiten da eta une horretatik aurrera elektroiek oztoporik gabe zeharkatuko dute PN juntura; hau da, korrontea egongo da. Hau dela eta, V_0 tentsioari atari-tentsio izena ere ematen zaio.

• PN juntura alderantzizko polarizazioan

PN juntura bat alderantzizko polarizazioan edo alderantziz polarizatuta (A.P.) dago junturari ezarritako tentsioaren alde positiboa junturaren N aldearekin eta alde negatiboa junturaren P aldearekin konektatuta daudenean, edo, beste modu batera esanda, tentsioaren eraginez, korronteak junturaren N aldetik P aldera joateko joera duenean.



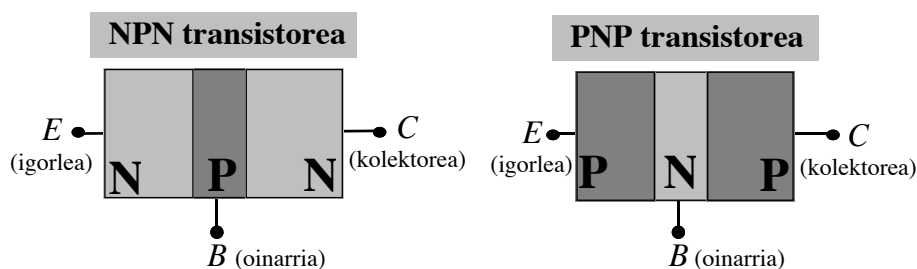
Sorgailuaren mutur positiboak elektroiak erakartzen ditu eta negatiboak, berriz, hutsuneak; ondorioz, elektroiak eta hutsuneak junturatik aldenduz doaz eta deplezio-geruza zabaldu egingo da. Izan ere, kanpoko tentsioak potentzial-langa handitu besterik ez du egiten. Ondorio gisa, ez da apenas korronteirik egongo, hau da, ez da apenas PN juntura zeharkatzen duen elektroirik egongo. Dena den, energia-bandak aztertuz, korrontea erabat nulua izango ez dela ikus dezakegu; oso txikia izango da, baina egongo da.



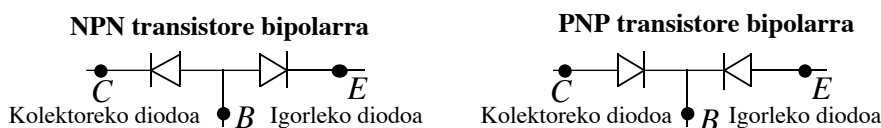
PN junturaren P eskualdean, badaude tenperaturaren kausaz sortutako elektroiei aske gutxi batzuk, eta horiek, sorgailuaren alde positiboak erakarriak izango direnez gero, PN juntura zeharkatu eta asetasun-korrontea (I_s) sortuko dute. Era berean, N eskualdeko hutsuneak sorgailuaren alde negatiboak erakarriko ditu. Aipatutako elektroiei askeen eta hutsuneen kopurua oso txikia denez, sortzen duten korrontea arbuia garria da, eta nulua dela kontsideratu ohi da. (Silizioaren kasuan $I_s = 10^{-9}$ A da eta germanioarenean, berriz, $I_s = 10^{-6}$ A.)

• PN juntura transistore bipolarretan

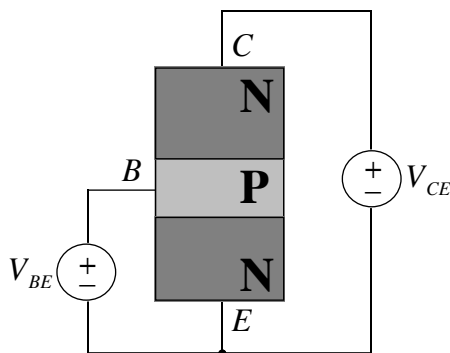
Transistore hauek bi PN junturaz osatuta daudenez gero, bi aukera desberdin agertzen zaizkigu: bi N eskualderen artean txertatutako P motako eskualde bat (NPN motako transistorea) ala P motako bi eskualderen artean gauzatutako N motako eskualde bat (PNP transistorea).



Zenbait kasutan, transistorearen funtzionamendua ulertu ahal izateko, elkarrekin konektatutako bi diodorekin pareka dezakegu; baina transistorearen egitura berezia dela eta, bere funtzionamendu erreala ezin da elkarrekin konektatutako bi diodoenarekin parekatu.



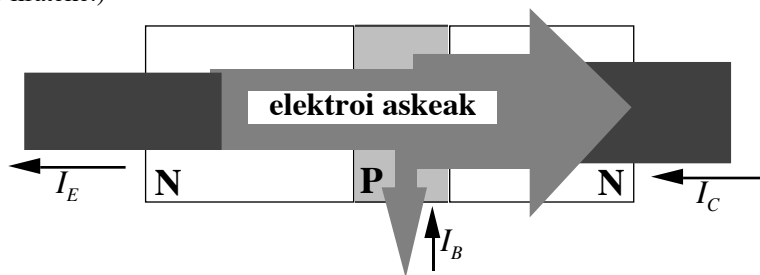
Transistorearen funtzionamenduaren funtsa P eta N eskualdeen zabalera eta ezpurutasunen kontzentrazioan dago. Funtzionamendu hau ulertzeko, transistorearen polarizazio-erregulazioa azalduko dugu, baita kasu honetarako funtzionamendua ere.



Transistorearen fabrikazio-prozesuan, igorlea asko kutsatzen da, eta oinarria, berriz, estua eta kutsadura gutxikoa egin ohi da. Igorlearen kutsadura handia dela eta, eramale ugarienen kopurua oso handia izango da (elektroiak NPN transistore baten kasuan). Oinarriko kutsadura eskasa dela eta, P motakoa den eskualdeko eramale ugarienen, hau da hutsuneen, kopurua txikia da. Gainera, oinarriaren zabalera txikia ezin da ahaztu.

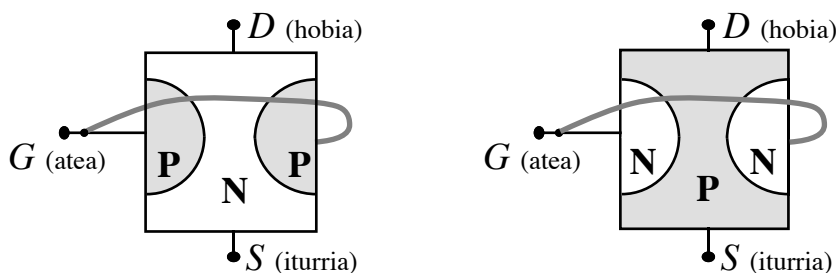
Oinarriaren eta igorlearen arteko potentzial-diferentzia dela eta, oinarri pasatzen diren elektroio askeak ez dira birkonbinatzen (aukera gutxi baitute) eta eramale urrien motakoak bihurtzen dira, P motakoa den oinarrian. Oinarria oso estua denez, bertan sartzen diren elektroioiak, oinarri-kolektore junturaren alderantzizko polarizazioaren eraginez sortutako eremu elektrikotik gertu daude. Gogora dezagun, alderantzizko polarizazioan PN junturatik gertu dauden eramale ugariak aldentu egiten direla eta eramale urrienak, berriz, erakarriak direla, juntura zeharkatuz. Horrela, junturara gerturatzen den edozein elektroio kolektorerara erakarria da, kolektoreko korrontea sortuz.

Transistorearen diseinua dela eta, oinarrian sartzen diren igorleko eramale ugariak alderantzizkoak, oinarri-kolektore PN juntura zeharkatzen dute. Horrela, maiz gertatzen da oinarri-kolektore korrontea, igorle-oinarri korrontea baino handiagoa izatea. Honek transistoreari korronte-anplifikatzaile gisa lan egiteko gaitasuna ematen dio; hau da, oinarriko korronte txiki bat izanik, kolektoreko korronte handia lor daiteke. Ondoko irudian agertzen da NPN transistore batean elektroien mugimendua nolakoa izango litzatekeen. Gogora dezagun, korrontearen noranzkoa elektroien mugimenduaren noranzkoa kontrakoa dela. (PNP motako transistore batean irudikatutako noranzkoan hutsuneak higituko lirateke.)



• PN juntura JFET transistoreetan

Transistore hauek ere PN motako bi junturaz osatuta daude, baina transistore bipolarrenarekin alderatuta, egitura erabat desberdina da.

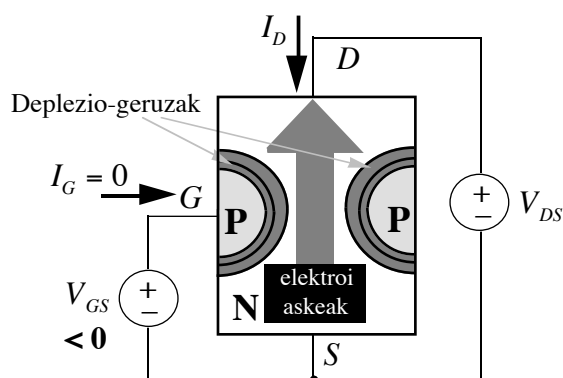


JFET transistorearen funtzionamenduaren funtsa ere oso desberdina da transistore bipolarrenarekin alderatuta, kasu honetan ez elektroiek ez eta hutsuneek ere ez baitituzte PN junturak zeharkatzen, junturak A.P. baitaude; kargak, ordea, bi junturen arteko kanalean zehar higitzen dira. Horregatik esaten zaie N kanaleko JFET transistorea ala P kanaleko JFET transistorea. N kanalekoan korrontea sortzeko elektroioak soilik mugitzen dira; eta bestean, berriz, hutsuneak soilik. Horregatik esaten da unipolarrak direla.

Kontrol-terminalari atea deritzo, G (*gate*), eta beste biei bere funtzionamenduaren arabera: bata iturria da, S (*source*), kargak (elektroiak edo hutsuneak, transistore-motaren arabera) terminal honetatik abiatzen direlako; eta bestea hobia da, D (*drain*), kargak (elektroiak edo hutsuneak) hona heltzen direlako.

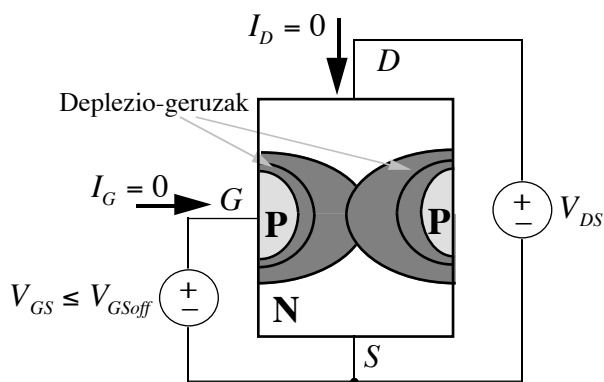
Azter dezagun N kanaleko JFET transistore baten funtzionamendua. Esan bezala, elektroiak PN junturak zeharka ez ditzaten, junturak alderantziz polarizatzen dira; P motako bi zatiak elkarri lotuta daudenez gero, bi junturak polarizatzeko, nahikoa da atearen eta iturriaren artean V_{GS} tentsio egokia ezartzea; hots, N kanaleko transistorean tentsio negatiboa jartzea. Modu horretan, ateko korrantea zero izango da ($I_G = 0$).

Bestalde, kanalean zehar korrantea igarotzeko, beste bi terminalen artean ere —hots, hobiaren eta iturriaren artean— potentzial-diferentzia bat ezarri behar da, V_{DS} .



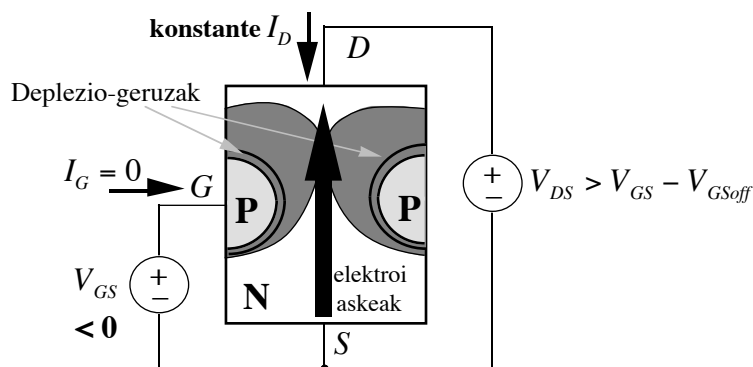
V_{GS} kontrol-tentsioaren balioaren bitartez, deplezio-geruzen zabalera kontrola dezakegu, eta, horrekin batera, kanalarena ere, hau da, elektroiak pasatzeko duten bidearen zabalera ere.

V_{GS} tentsioak maila jakin bat (V_{GSoff}) gainditzen duenean, kanala itxi egingo da, eta ez da korronteirik egongo; orduan, kanala ito egin dela esaten da, eta V_{GSoff} balioari itotze-tentsio izena ematen zaio. Transistorea kortean egongo da kasu horretan.



Bestalde, hobiaren eta iturriaren arteko potentzial-diferentziaren eraginez, iturriko elektroi askeak hobirantz higituko dira, I_D korrontea sortuz; V_{GS} konstante mantenduz gero, V_{DS} handitzean I_D korrontea ere handituko da linealki; transistoreak erresistentzia bat bailitzen jokatzen du. Orduan, zona ohmikoan dagoela esaten da.

Baina hor ere, hobiaren aldean, V_{DS} tentsioaren eraginez, deplezio-geruzen zabalera aldatu egiten da; izan ere, deplezio-geruzen zabalera desberdina izango da, iturriaren aldean eta hobiaren aldean. Horrela, V_{GS} tentsioak itotze-tentsioa gainditu ez arren, $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS}$ tentsioak V_{GSoff} balioa gainditzen duenean, kanala ito egingo da hobiaren aldean; alabaina, kasu horretan kanala erabat itota ez dagoenez gero —soilik hobiaren aldean—, korrontea pasatzen da kanaletik. Hori bai, hortik aurrera V_{DS} tentsioa gainditu arren, I_D korrontea konstante mantenduko da; orduan, transistorea asetatsunean dagoela esaten da, ez baitu korronte gehiagorik onartzen.

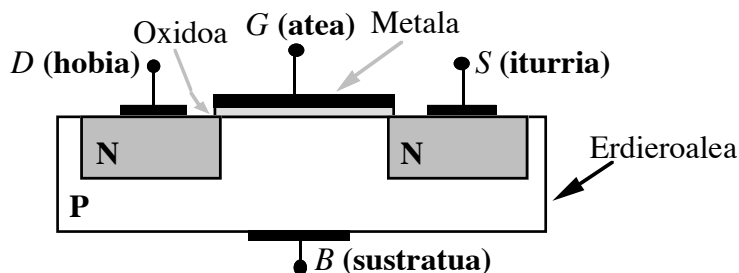


• PN juntura MOSFET transistoreetan

Transistore hauek ere PN motako bi junturaz osatuta dauden arren, ez da hori transistore hauen ezaugarri nagusia, metal-oxido-erdieroale (*Metal-Oxide-Semiconductor*) egitura baizik, horixe baita bere funtzionamenduaren oinarri. Kasu honetan ere, bi transistore-mota bereizten dira: N kanalekoak edo **NMOS**, P motako eskualde zabal bat eta N motako bi eskualde txikiz osatuak; eta P kanalekoak edo **PMOS**, N motako eskualde zabal bat eta P motako bi eskualde txikiz osatutakoak.

Zabaltze-motako MOS transistoreak:

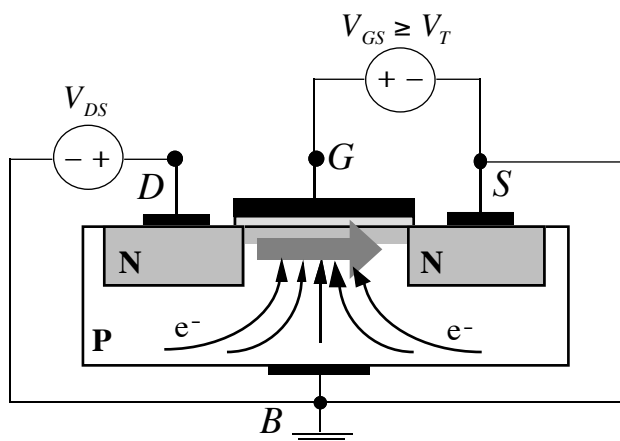
Zabaltze-motako NMOS transistore baten egitura ondoko irudian agertzen da.



Transistore honetan, hobiaren eta iturriaren artean korrontea egon dadin, beharrezkoa da D eta S -ren artean N motako kanal bat sortzea. Kanal hori izango da transistoreari izena ematen diona. (Hots, kanala P motakoa izango balitz, transistorea PMOS motakoa izango litzateke.)

Kanala sortu ahal izateko, G -ren (atearen) eta S -ren (iturriaren) artean potentzial-diferentzia positibo bat ezarri beharko dugu. V_{GS} tentsioa, atari-tentsioa (V_T) delakoa baino handiagoa izan beharko da kanala sortzeko. Hau da, $V_{GS} = 0$ denean, inoiz ez da korrontetik pasatuko D -tik S -ra, $V_{DS} > 0$ izan arren.

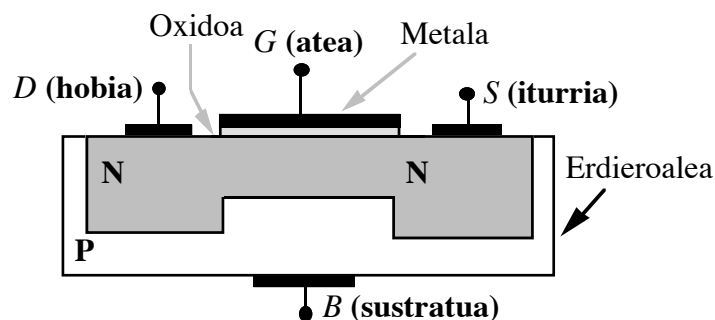
Edozein kasutan, ateko korrontea beti nulua da, isolatzailea (oxidoa) dagoelako (hau dela eta, IGFET izena ere eman ohi zaie: *Isolated Gate FET* = Ate Isolatuko FET).



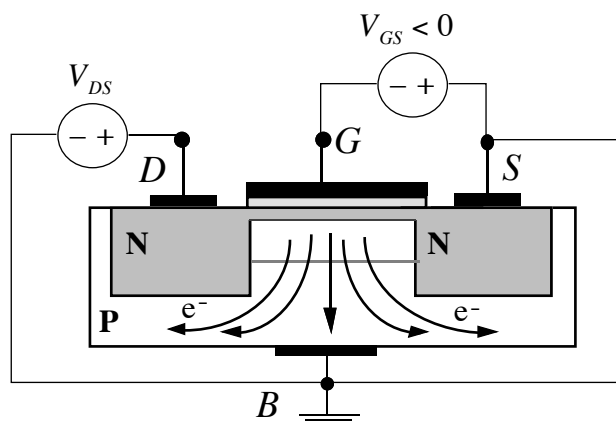
Baina, atea nahikoa positiboa denean, V_{GS} tentsioari dagokion eremu elektrikoa dela kausa, atek P eskualdeko elektroi libreak erakartzen ditu. Elektroi hauek, oxidoa (isolatzailea) zeharkatu ezin dutenez, oxidotik gertu dauden hutsuneekin birkonbinatzen dira, hasieran behintzat. Une batetik aurrera, oxidoaren inguruan dauden hutsune guztiak elektroiez beteko dira, eta, V_{DS} tentsioari esker, elektroi askeak iturritik hobirantz higitzen hasiko dira: korrontea sortuko da, D -tik S -ra hain zuzen ere. Beraz, eragina oxidoaren inguruan N motako erdieroale zati bat sortzearen berdina da: kanala hain zuzen. Zabaltze-motako transistore esaten zaie, V_{GS} tentsioaren bidez N motako kanala sortzeaz gain, bere zabalera kontrola daitekeelako.

Estuagotze-motako MOS transistoreak:

Transistore hauek zabaltze-motakoen ezaugarri nagusiak dituzte, baina desberdintasun nabaria kanala da, zeren, hauetan, fabrikazio-prozesutik bertatik, D eta S terminalen artean kanal bat baitago, ondoko irudian agertzen den bezala. Beraz, funtzionamendua lortzeko, ez da kanala sortu behar. Kasu honetan ere, bi transistore-mota bereizten dira: N kanalekoak eta P kanalekoak. NMOS transistore baten egitura ondoko irudian agertzen dena da.



Transistore honetan, hobiaren eta iturriaren artean potentzial-diferentzia bat ezarriz gero, korrontea egongo da D eta S -ren artean, nahiz eta atea polarizatu gabe egon (hots $V_{GS} = 0$ izan arren), N motako kanala desagiten ez den artean. Kanal hori dela eta, transistore honen funtzionamendua zabaltze-motako transistorearenaren kontrakoa da: kasu honetan, G atea polarizatu ohi da kanala estuagotzeko (hortik izena). Horretarako, G -ren (atearen) eta S -ren (iturriaren) artean potentzial-diferentzia negatiboa ezarri beharko dugu.



Atea negatiboa denean, N eskualdeko elektroien librearen gainean aldarapen-indarra sortzen du, eta hauek P aldera mugituko dira. Ondorioz, oxidoaren inguruan dagoen elektroien askeen kopurua txikiagotu egingo da, edo, beste modu batera esanda, N motako kanala estuagotu egingo da. Elektroien hauek, P eskualdera pasatu eta bertako hutsuneekin birkonbinatuko dira ziurrenik. Atea nahiko negatiboa denean, N kanala erabat desagertuko da eta bai eta D -tik S -ra zegoen korrontea ere. Hori V_{GSoff} itotze-tentsio izeneko tentsioarekin lortzen da, orduan kanala "ito" egiten baita. Beraz, eragina, oxidoaren inguruan zegoen N motako erdieroale zatia desagerraraztearen parekoa da. (Estuagotze-motako MOS transistoreen funtzionamendua, beraz, JFET transistoreenaren parekoa da.)