

DIODA TUNEL ȘI DIODA TUNEL REVERS

O diodă tunel cunoscută sub numele de dioda Esaki este bazată pe $p-n$ joncțiune din semiconductor puternic dopat, capabilă de operare la frecvențe înalte. Leo Esaki a inventat dioda tunel în august 1957. Ge, GaAs, Si, InSb, PbTe, GaSb, SiC, etc., sunt materiale utilizate pentru a confecționa dioda tunel. Dioda tunel se caracterizează cu o rezistență diferențială negativă în intervalul de operare la polarizarea directă. Prin urmare poate fi folosită ca amplificator, oscilator sau în circuite de comutare.

Simbolul diodei tunel este reprezentat în figura 3.27.

Construcția diodei tunel. Dioda este montată într-un corp ceramic cu capac de etanșare ermetic (Fig. 3.28).



Figura 3.27. Simbolul diodei tunel

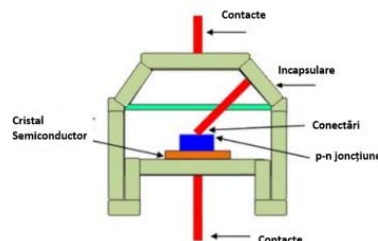


Fig. 3.28. Construcția diodei tunel

Un punct relativ mic ca dimensiuni din Sn este aliat sau sudat la o peletă puternic dopată de tip n-Ge. Peletul este sudat la contactul anod care este utilizat și pentru disiparea căldurii. Contactul din Sn este conectat la contactul catodic printr-o sită cu goluri (ochiuri) pentru a reduce inductanța.

Conceptul tunelării electronilor. O structură $p-n$ este reprezentată în figura 3.29. Pentru o barieră relativ groasă atât mecanica newtoniană, cât și cea cuantică ne spun că trecerea electronului prin bariera de potențial formată este imposibilă, dacă energia electronului este mai mică ca valoarea înălțimii barierei (fig. 3.29 – 3.30).

Dar, conform ecuației Schrödinger din mecanica cuantică, în anumite condiții când bariera este realizată subțire (fig. 3.29) există o probabilitate ca electronul să tuneleze prin barieră:

$$\alpha \exp(-A E_b W) \quad (3.24)$$

în care: E_b – energia barierei; P – probabilitatea că particulelor trec bariera; W – lățimea barierei.

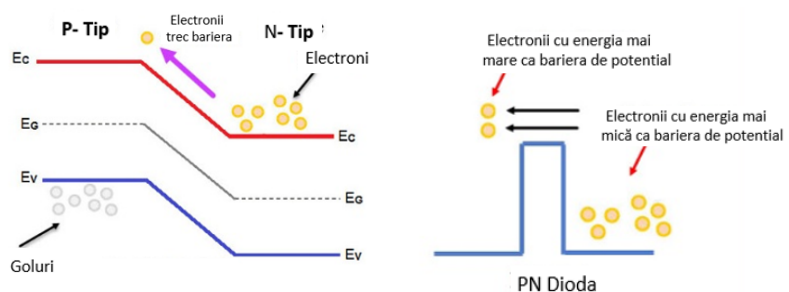


Figura 3.29. Diagrama energetică și bariera de potențial a diodei tunel

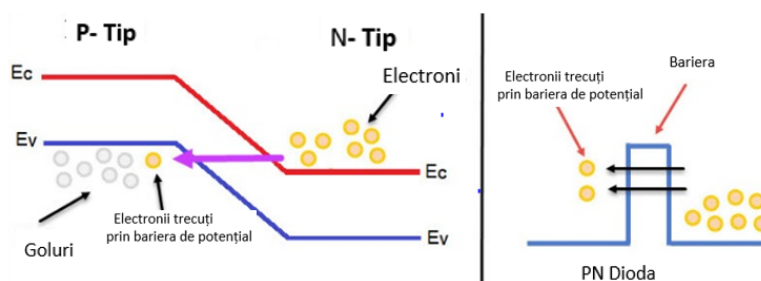


Figura 3.30. Efectul de tunelare în $p-n$ joncțiune

Folosindu-se de prevederile mecanicii cuantice fizicianul Leo Esaki cu colegii a asigurat (1957) condițiile necesare (concentrații de dopare în regiunile p și n foarte înalte, câmpuri electrice foarte înalte la interfața $p-n$ structurii, grosimea stratului de epuizare foarte mică) pentru petrecerea tunelării în $p-n$ joncțiune. Nivelele înalte de dopare (semiconductori degenerați) fac ca nivelul Fermi în astfel de semiconductori se plasează în BC sau în BV la o distanță de 2-3 kT de marginea benzii respective.

Deoarece efectul de tunelare este efect cuantic, el are loc practic cu viteza apropiată de viteza luminii, astfel dioda tunel își păstrează proprietățile până la frecvențe foarte înalte (GHz). O altă cauză a inerției mici a diodei tunel este caracterul mișcării electronului în mediu uniform al semiconductorului după trecerea prin barieră. Cum are loc aceasta? În diode semiconductoare clasice electronul ce a părăsit semiconductorul de tip *n* nimereste în semiconductor de tip *p* unde devine minoritar, înconjurat de goluri – purtători majoritari.

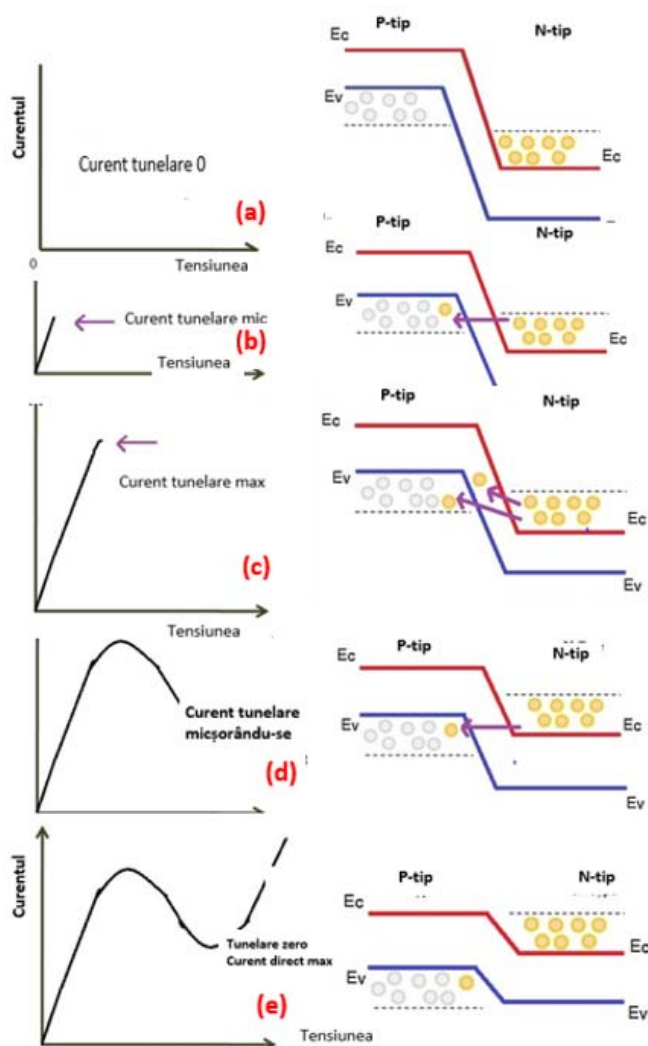


Figura 3.31. Procesul tunelării în dioda tunel la polarizare directă

Particularitate a mișcării purtătorilor de sarcină în semiconductori este aceea că se deplasează cu viteza de difuziune, deci cu viteză relativ mică. Aceasta înseamnă că cu aceeași viteză are loc și transmiterea semnalului. Viteza de difuziune este dominantă în aprecierea multor dispozitive semiconductoare: diode, tranzistoare.

Dar în diode tunel este situație complet diferită. În acest caz electronul din regiunea *n* nimerind în regiunea *p* este transformat virtual în sarcină pozitivă (în gol). Din aceste considerente *electronii, tunelând din regiunea n în regiunea p devin în regiunea p purtători majoritari în regiunea p*. Dar cunoaștem, că purtătorii de sarcină majoritari în dispozitive semiconductoare transmit semnalul cu viteza luminii. Din aceste considerente dioda tunel este dispozitiv microelectronic practic fără inerție. Limitele de frecvențe de lucru ale diodei tunel sunt dictate exclusiv de capacitatea *p-n* joncțiunii și pierderile cauzate de rezistența serie în volum a semiconductorului și a conductoarelor – contacte.

Polarizarea directă a diodei tunel. La tensiunea zero aplicată *p-n* joncțiunii curentul este zero (fig. 3.31, a). Cu creșterea tensiunii aplicate apare curent de tunelare (fig. 3.31, b) datorită absenței injectării notabile a electronilor în BC, dictate de energia insuficientă a electronilor.

La o anumită tensiune aplicată, energia majorității electronilor în regiunea *n* este echivalentă energiei stărilor libere (golorilor) în BV a regiunii *p*. Acest fapt indică valoarea maximă a electronilor tunelați, deci și curentul maxim realizat (fig. 3.31,c). Continuarea creșterii tensiunii aplicate conduce la situația, când numărul electronilor în regiunea *n* ce sunt poziționați (după energii) opus stărilor libere în BV începe să scadă, conducând la micșorarea curentului de tunelare (fig. 3.32,d). Astfel apare regiunea cu rezistență diferențială negativă. Creșterea în continuare a polarizării directe aplicate va micșora curentul de tunelare până la o valoare minima (tunelare zero, fig. 3.32, e), din cauza epuizării totale a electronilor pasibili pentru participare în tunelare și apariția curentului difuzional grație injectării perechilor electron-goluri cu energii mai mari ca *Eg*. Cu creșterea tensiunii polarizării directe I-V caracteristica diodei tunel va repeta caracteristica diodei redresoare dictate de mecanismul *p-n* joncțiunii (fig. 3.32, segmentul BC).

Curentul total în diode tunel este:

$$I = I_{\text{tun}} + I_{\text{diodă}} + I_{\text{exces}} \quad (3.25)$$

$$I_{\text{diodă}} = I_s \exp \left[\frac{V}{\eta V_{\text{th}}} - 1 \right] \quad (3.26)$$

unde I_s curent de saturație; η - factorul idealității; V_{th} – tensiunea de prag $V_{\text{th}} = kT/q$

Curentul de tunelare:

$$I_{\text{tun}} = (V/R_0) \exp[-(V/V_0)^m] \quad (3.27)$$

de regulă $m=1...3$, $V_0 = 0,1...0,5V$

R_0 – rezistența diodei tunel în regiunea ohmică (segmentul OA, fig. 3.32).

Valoarea maximă a rezistenței diferențiale negative (segmental AB, fig. 3.32) poate fi calculate din relația:

$$|R_{d \text{ max}}| = R_0 \frac{\exp\left(\frac{1+m}{m}\right)}{m} \quad (3.28)$$

Tensiunea de vârf (fig. 3.32)

$$V_p = (1/m)^{1/m} V_0 \quad (3.29)$$

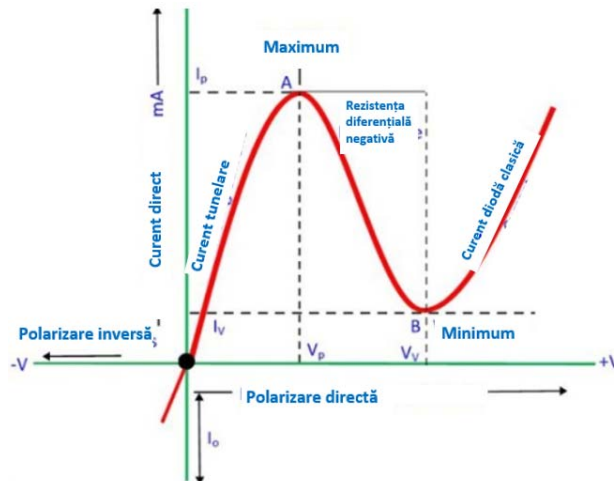


Figura 3.32. Caracteristica I-V a diodei Esaki

Curentul în exces:

$$I_{\text{exces}} = \frac{V}{R_v} \exp \left[\frac{V - V_v}{V_{\text{ex}}} \right] \quad (3.30)$$

Curentul în exces este curent de tunelare adițional, datorat tunelării parazitare prin impurități. Acest curent determină valoarea curentului minimal (în vale) I_v corespunzător V_v (fig.3.32). R_v și V_{ex} sunt parametri empirici. În diode tunel de calitate înaltă $R_v \gg R_0$, $V_{\text{ex}} = 1...5 V$.

Am discutat privind aceea, că pentru o particulă cuantică, energia căreia este sub energia barierei de potențial, există totuși o probabilitate ca particula să se afle de cealaltă parte a barierei prin tunelare. Pentru calculul transparenței barierei în caz de tunelare se folosește ecuația ce reiese din teoria semiclassicală Wentzel-Kramers-Brillouin (teoria WKB) aplicabilă la bariere dreptunghiulare și triunghiulare. Funcția de undă a electronului injectat (fig. 3.33) de la stânga spre dreapta cu o energie mai mică ca înălțimea barierei, este subiect al dumpingului exponențial în regiunea barierei de tipul:

$$\psi(x) \approx e^{-\beta x} \quad \text{cu} \quad \frac{\hbar^2 \beta^2}{2m} = V_b - E \approx V_b \quad \text{pentru } E \ll V_b \quad (3.31)$$

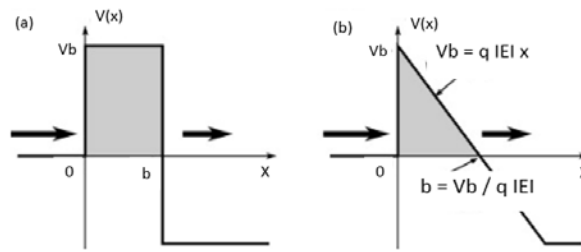


Figura 3.33. Ilustrarea tunelării electronului prin barieră uni-dimensională rectunghiulară (a), triunghiulară (b)

Pentru bariere cu transparență joasă, probabilitatea tunelării în lipsa evenimentelor de împrăștiere poate fi estimate aproximativ ca

$$D = \exp\left[-2 \int_0^b \beta dx\right] \quad (3.32)$$

unde $\beta = \sqrt{\frac{2mV_b}{\hbar^2}}$ pentru $0 \leq E \ll V_b$,

sau, după unele transformări:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{2b}{\lambda_m \hbar (V_b - E)^{1/2}}\right) = 16E(V_b - E)V_b^{-2} \quad (3.33)$$

unde $D_0 = \frac{16E(V_b - E)}{V_b^2}$ (3.33, a)

și V_b – înălțimea barierei, E – energia electronului.

Influența temperaturii. Cu creșterea temperaturii energia benzii interzise E_g se micșorează ce duce la micșorarea lățimii barierei de tunelare, astfel crește probabilitatea de tunelare, dar și valoarea curentului de pic (fig.3.34).

Dar, cu creșterea temperaturii se modifică concentrațiile electronilor pe nivele energetice, numărul electronilor sub nivelul Fermi în BC a n-SC scade, deoarece o parte a electronilor liberi trec pe nivele energetice mai mari, iar nivelul Fermi se deplasează în jos. Din această cauză numărul electronilor apti pentru tunelare din regiunea n în regiunea p scade, cauzând micșorarea curentului de tunel direct, dar nu tot timpul. Cauza fiind cu creșterea temperaturii a existenței, pe lângă mecanismul direct de tunelare, a cotei curentului de injecție, care contribuie la creșterea valorii curentului din minimumul curbei caracteristicii IV.

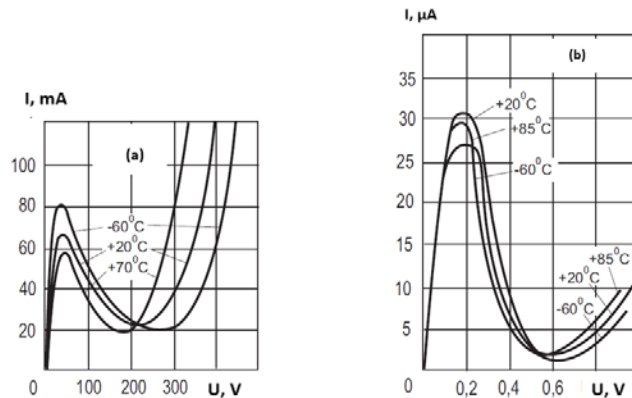


Figura 3.34. Dependența caracteristicii I-U de temperatura de lucru în diode tunel de Ge (a) și GaAs (b).

Totodată observăm din figura 3.34 că în diode cu banda interzisă mai mare (GaAs) minimumul curentului are loc la tensiuni de polarizare directă mai mare.

Notăm, că diodele tunel au frecvențele limită de lucru destul de mari (1010 Hz) deoarece timpul proceselor la tunelare este de nanosecunde, ce la face aplicabile în tehnici de frecvențe înalte.

Circuitul echivalent al diodei tunel cu considerarea rezistenței diferențiale negative. Din figura 3.32 observăm că la atingerea unui anumit curent (I_{max}) începe micșorarea valorii curentului prin diodă până la o valoare minimă (I_{min}). Aplicând legea lui Ohm pentru determinarea rezistenței diferențiale pe panta negativă a curbei caracteristicii IV obținem valori negative ale rezistenței diferențiale.

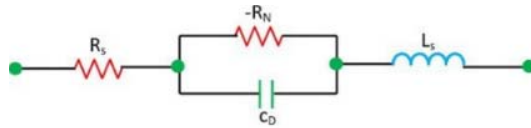


Figura 3.35. Schema echivalentă a diodei tunel

În figura 3.35 este reprezentat circuitul echivalent al diodei tunel, în care:

Rs – rezistența dictată de conexiunile dintre diode Esaki și materialul semiconductor și care are valori de cca 5 Ohmi;

Ls – inductanța cauzată de conexiunile diodei tunel;

CD – capacitatea diodei tunel;

Dacă neglijăm cu valoarea L_s , impedanța diodei va fi:

$$Z = R_s + \frac{1}{-G + j\omega C} = \frac{R_s G^2 + \omega^2 C^2 R_s - G - j\omega C}{G^2 + \omega^2 C^2} \quad (3.34)$$

Ca dioda să genereze, trebuie îndeplinită condiția $RZ < 0$, atunci obținem frecvența limită de generare:

$$f_{lim} \leq \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{G}{R_s}} \quad (3.35)$$

Polarizarea inversă a diodei tunel. În acest caz electronii în BV a regiunii p tunează direct spre stările energetice libere opuse în BC a regiunii n , creând un curent de tunelare (de scurgere), crescând substanțial cu valoarea polarizării inverse. Astfel, caracteristica IV în această regiune este asemănătoare diodei Zenner cu o tensiune de străpungere respectivă.

Aplicațiile diodei tunel

- Datorită mecanismului de tunelare, este folosit ca un comutator cu frecvența înaltă cu timpul de comutare de ordinul n_s și p_s .
- Datorită caracteristicii cu trei pante a curbei de curent electric, este utilizat ca dispozitiv de stocare de memorie logică.
- Datorită capacității și inductanței extrem de mici și rezistenței diferențiale negative, este folosit ca oscilator cu microunde (fig. 3.36) la o frecvență de aproximativ 10 GHz, în care rezistența sarcinii R_L este selectată astfel ca $R_L < |R_d|$ în regiunea rezistenței diferențiale negative, atunci punctul de operare al diodei tunel va fi în această regiune a rezistenței diferențiale negative (fig. 3.37).

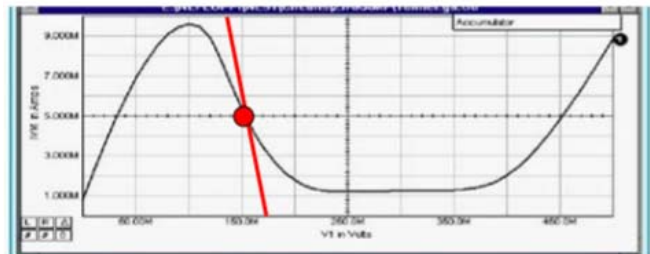
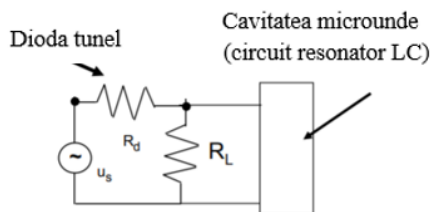


Fig. 3.36. Dioda tunel ca oscilator de microunde Fig. 3.37. Caracteristica I-V a diodei tunel cu PSF

Circuitul rezonant cu rezistența diferențială negativă poate oscila (fig. 3.38). Frecvența maximă de oscilare a diodei tunel este limitată de timpul caracteristic de tunelare ($\ll 1ps$):

$$f_{max} \leq (1/2\pi)(1/\tau_{tunelare}) \quad (3.36)$$

Avantajele diodei tunel: cost redus, putere consumată mică, viteză mare de comutare, zgomot redus la funcționare, longevitatea exploatării și fiabilitate înaltă în condiții de radiații ionizante, câmpuri electromagnetice.

Dezavantajele diodei tunel: fiind un dispozitiv cu două contacte nu asigură izolarea înaltă între circuitul de intrare și ieșire, iar tensiunea de lucru este nu mai mare de 1 Volt; producerea redusă.

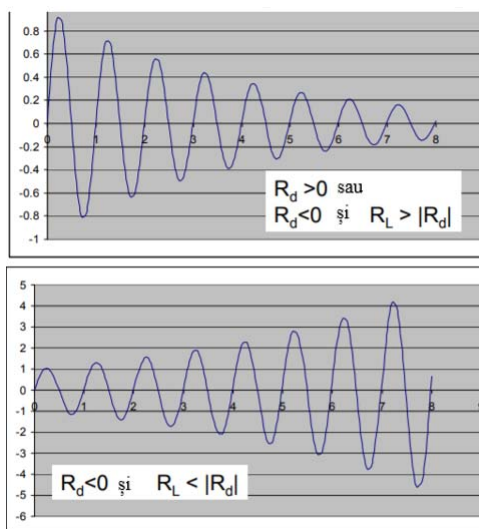


Figura 3.38. Curbele tranzitorii în cavitatea rezonatoare la conectarea ON a diodei tunel

Dioda tunel revers (*backward diode*) se caracterizează cu caracteristica IV la polarizare directă similară diodei convenționale și la polarizare inversă cu conducție prin tunelare. Astfel de diodă are rezistența diferențială mare la polarizare directă până la valori ale tensiunii aplicate de 0,1-0,2 V, și o rezistență foarte mică la polarizare inversă. Creșterea rapidă a curentului invers (panta abruptă a caracteristicii IV la polarizare inversă) permite utilizarea a astfel de diode inverse pentru detectarea semnalelor alternative foarte slabe (mV). Aceasta le deosebește pozitiv în raport cu diodele convenționale, care nu permit detectarea semnalelor de mV.

Aceste diode sunt confecționate din *p-n* joncțiuni cu concentrații mai joase de dopare ca la diodele tunel, dar mai înalte ca la diodele convenționale.

Caracteristica volt-amperică a diodei tunel revers este reprezentată în figura 3.39. Ramura directă a caracteristicii IV este similară diodei convenționale, cu absența practic a distorsiunii cu rezistența diferențială negativă, tipică diodei tunel.

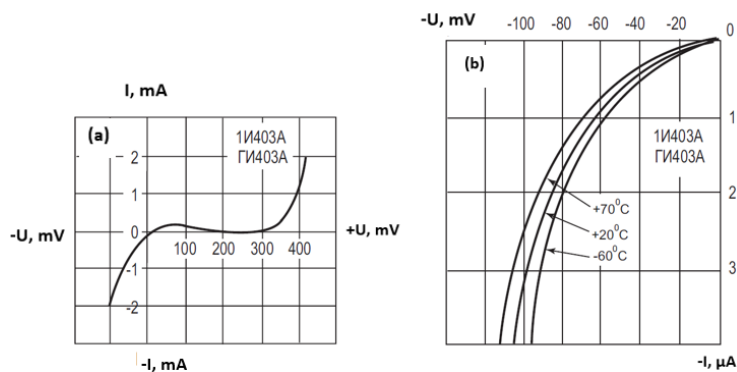


Figura 3.39. Caracteristica volt-amperică a diodei revers de Ge (a) și a ramurii inverse în funcție de temperatură (b).

La polarizarea inversă are loc tunelarea electronilor din BV a regiunii *p* spre BC a regiunii *n*, (fig. 3.40), și la valori ale polarizării inverse (zeci de mV) curenții inversi sunt relativi mari, mult mai mari ca la polarizarea directă pentru aceleași valori ale tensiunii

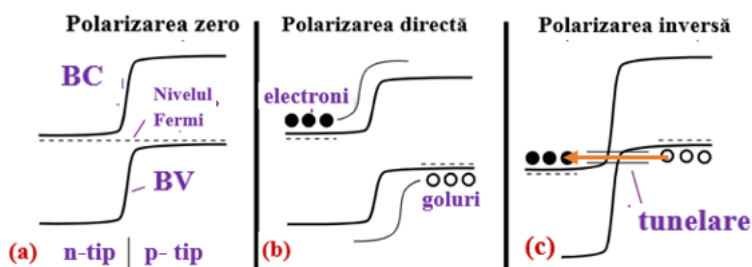


Figura 3.40. Dioda tunel revers în absența polarizării (a), polarizării directe (b), polarizării inverse (c)

LUCRARE DE LABORATOR № 3

TEMA: CERCETAREA DIODEI TUNEL

SCOPUL LUCRĂRII: *studierea principiului de lucru, a caracteristicilor curent-tensiune și determinarea parametrilor principali a diodei tunel (DT).*

Metoda de cercetare și formulele de calcul

La baza funcționării diodei tunel este efectul de tunelare. Acest fenomen constă în faptul, ca electronul ce posedă energia mai mică decât înălțimea barierei de potențial poate străbate această barieră de potențial.

Caracteristica curent-tensiune a diodei este caracterizată de următorii parametri:

I_1 – curentul de vârf, ce corespunde punctului maxim de pe caracteristică;

I_2 – curentul minimal, ce corespunde minimului de pe caracteristică;

U_1 – tensiunea ce corespunde curentului I_1 ;

U_2 – tensiunea ce corespunde curentului I_2 ;

U_3 – tensiunea maximală a caracteristicii curent-tensiune ce corespunde curentului de pe ramura difuzională egal cu curentul I_3 .

Schema echivalentă a diodei tunel pe sectorul de rezistență negativă este reprezentată în fig. 1.

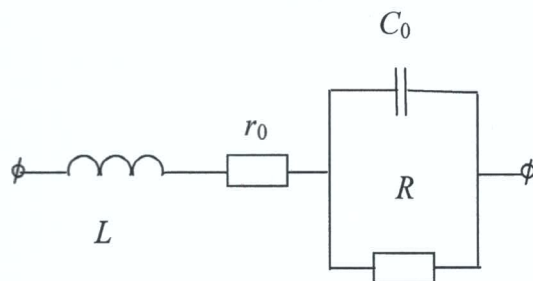


Fig. 1. Schema echivalentă a diodei tunel pe sectorul de rezistență negativă, unde: r – modulul rezistenței negative; r_0 – rezistența ohmică sumară a straturilor; C_0 – capacitatea de barieră; L – inductanța terminalelor DT; R – rezistența externă a circuitelor de conexiune.

Dioda tunel între terminalele exterioare reprezintă o rezistență complexă de intrare Z :

$$Z_{in} = (R + r_0) + j\omega L + \left(-\frac{r}{1 - j\omega C_0 \cdot r} \right) \quad (3.1)$$

$$Z_{in} = R_e \cdot (Z_{in}) + I_{in} \cdot (Z_{in}) \quad (3.2)$$

Frecvența la care partea reală a rezistenței complexe $R_e \cdot (Z_{in}) = 0$, adică rezistența diferențială este compensată de rezistența pierderilor se numesc de frontieră și este determinată de relația:

$$f_{fr} = \frac{1}{2\pi \cdot |r| \cdot C_0} \cdot \sqrt{\frac{r}{R + r_0}} \quad (3.3)$$

Frecvența la care partea imaginară a rezistenței complexe de intrare $I_{in} \cdot (Z_{in}) = 0$ se numește frecvență de rezonanță și este determinată de relația:

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi \cdot |r| \cdot C_0} \cdot \sqrt{\frac{C_0}{L} |R + r_0|^2 - 1} \quad (3.4)$$

Dacă $f_{fr} = f_{rez}$ atunci rezistența conturului echivalent este egal cu zero și schema este nestabilă, adică va autogenera oscilații sinusoidale. Condiția pentru autoexcitare a schemei poate fi scrisă sub forma:

$$R_{\Sigma} \leq \frac{L_{\Sigma}}{C_0 \cdot r} \quad (3.5)$$

unde R_{Σ} , L_{Σ} – rezistența sumară a pierderilor și inductanța terminalelor diodei tunel (DT). Pentru lucrul stabil a schemei este necesar de a satisface inegalitatea:

$$R_{\Sigma} \leq \frac{L_{\Sigma}}{C_0 \cdot r}, \quad (3.6)$$

pentru îndeplinirea regimurilor de amplificare și generare a schemei pe dioda tunel, este necesar de respectat inegalitatea:

$$R_{\Sigma} < r \quad (3.7)$$

iar pentru regimul de comutare:

$$R_{\Sigma} > |r| \quad (3.8)$$

Descrierea instalației

Schema pentru ridicarea caracteristicii curent-tensiune statice a diodei tunel (DT) în polarizare directă și inversă este reprezentată în fig. 2.

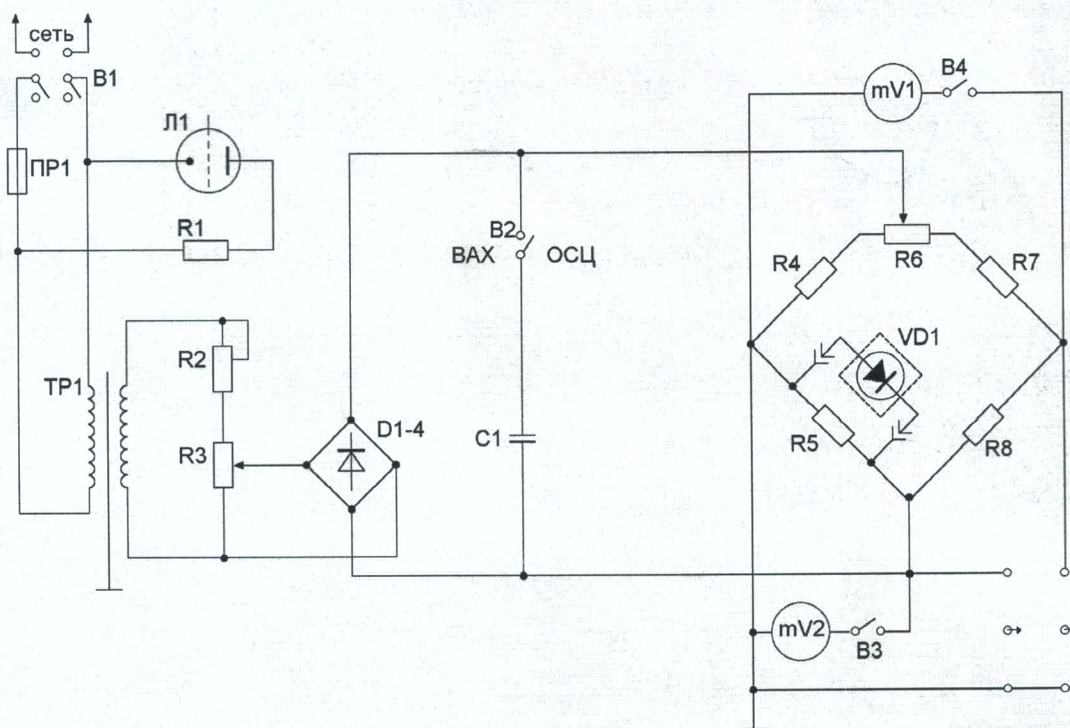


Fig. 2. Schema pentru ridicarea caracteristicii curent-tensiune statice a diodei tunel.

Tensiunea de pe potențiometrul R_3 se aplică la puntea redresoare în două semiperioade cu C-filtru. Dioda tunel este plasată pe un suport special și se comutează în una din ramurile schemei punții redresoare. Rezistența R_5 îndeplinește rolul rezistenței de șuntare. Potențiometrul R_6 servește pentru balansarea punții de rezistențe pentru cazul când dioda tunel este deconectată. Milivoltmetrul $mV2$ măsoară tensiunea proporțională curentului prin dioda tunel:

$$I_{md} = V1 \cdot \frac{R_7' + R_8}{R_5 \cdot R_7'} \quad (3.9)$$

Această expresie este corectă pentru cazul când puntea prealabil este echilibrată pentru dioda tunel deconectată și ea indică:

$$\frac{R_4'}{R_{85}} = \frac{R_7'}{R_8} \quad (3.10)$$

unde: R_4' - rezistența ramurii între punctele „a” și „b”; R_8 - rezistența ramurii între punctele „c” și „d”; R_7' - corespunzător.

Puntea dată poate fi descrisă prin următoarea relație:

$$(I_{01} + I) \cdot R_4' + I_{01} \cdot R_5 - I_{02} \cdot (R_7' + R_8) \quad (3.11)$$

$$I_{02} \cdot R_7' - V_1' I - I_{01} \cdot R_4 = 0 \quad (3.12)$$

$$I_{01} = \frac{V_1'}{R_4'} \quad (3.13)$$

unde: I_{01}, I_{02} - curenții punții echilibrate fără DT.

Rezolvarea comună a ecuațiilor 3.2 și 3.11 permite de a determina valoarea căutată:

$$I_g = V_1^* \cdot \frac{R_7' + R_8}{R_5 \cdot R_7'} \quad (3.14)$$

unde: V_1^* - indicațiile milivoltmetrului, $R_5=R_8=24\Omega$; $R_6=24\Omega$; $R_7' = R_4' = 36\Omega$, deoarece $R_7' = R_7 + \frac{1}{2R_6}$.

Ordinea de îndeplinire a lucrării

1. Pe panoul de laborator pentru cercetarea caracteristicilor DT se află basculantele de ajustare (reglare) ce se află pe panoul din față și întrerupătorul electric de pe panoul lateral din stânga: întrerupătorul B_1 a schemei de cercetare a DT, potențiometrul R_3 , comutatorul B_2 , potențiometrul R_3 , comutatorul B_2 , potențiometrul R_6 , cuiburile pentru ieșire X și Y a osciloscopului H3013, cuiburile pentru conexiunea externă a mV2, indicatoarele mV1 și mV2 (limitele cărora sunt exprimate în volți), cuiburile pentru conectarea diodei tunel DT, a generatorului impulsurilor $\Gamma 5-48$, a osciloscopelor C1-65 și H3013, firele de conexiune.

2. Instalați basculantele de comandă în următoarea ordine:

- întrerupătorul general de la rețeaua electrică (ce este situat pe panoul lateral din stânga) în poziția „DECONNECTAT”!

- întrerupătorul B_1 - în poziția „DECONNECTAT”;
- potențiometrul R_3 - în poziția limită din stânga;
- comutatorul B_2 - în poziția BAX (caracteristica curent-tensiune);
- potențiometrul R_6 - în poziția medie;
- limita pentru mV1 - apăsați butonul limitei 0.5 Volți;
- limita pentru mV2 - apăsați butonul limitei 1 Volți;
- întrerupătorul osciloscopului H3013 - „DECONNECTAT”;
- dioda tunel - neconectată la schemă .

3. Măsurarea caracteristicii curent-tensiune în regim static

După îndeplinirea punctului 2 cu ajutorul firului de conexiune conectați standul (panoul de laborator) la rețeaua $\approx 220V$ 50Hz. Conectați întrerupătorul general a panoului lateral din stânga, de asemenea și întrerupătorul B_1 . După aceasta trebuie să lumineze indicatorul A_1 .

Cu ajutorul potențiometrului R_3 de stabilit indicațiile milivoltmetrului mV2 cu poziția „100”, ce corespunde tensiunii $U = 1V$. Pentru stabilirea mai corectă a indicatorului mV1 în poziția „0”, apăsați butonul limitei 0.05V. După stabilirea zeroului a indicatorului mV1, se dezactivează butonul 0.05. Schema este echilibrată.

Reduceți potențiometrul R_3 în poziția limită din stânga. Conectați dioda tunel cercetată în cuiburile respective, respectând polaritatea. Alegând limitele corespunzătoare a milivoltmetrelor mV_2 și mV_1 , ridicați caracteristica curent-tensiune a diodei cercetate și notați rezultatele respective în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

mV_2, V							
mV_1, V							
$I_d = V_1 \cdot \frac{R_7' + R_8}{R_5 \cdot R_7'}, A$							

unde: $R_7' = 36 \Omega$; $R_5 = R_8 = 24 \Omega$.

După finisarea procesului de măsurări reduceți potențiometrul R_3 în poziția limită din stânga. Întrerupătorul B_1 rămâne în poziția conectată până la sfârșirea tuturor măsurărilor și cercetărilor.

4. Cercetarea caracteristicii curent-tensiune a diodei tunel utilizând osciloscopul.

Comutatorul B_2 aduceți-l în poziția „ОСЦ” (oscil.) și utilizați aceeași schemă electrică ca în etapa anterioară.

Conectați osciloscopul H3013 cu întrerupătorul „сеть” (rețea). Permiteți încălzirea în decursul a cinci minute, butoanele comutării regimului de lucru a osciloscopului se află în stare deconectată, în afară de „синхр.” (sincronizare), mânerile reglării amplificării „X” și „Y” în poziția limită din stânga. Cu ajutorul potențimetrelor „Яркость” (luminozitatea), „Фокус” (focusarea fascicolului), „↕”, „↔” găsiți fascicolul, focusați-l și plasați-l în unghiul drept în sus a ecranului.

Conectați la intrările „X” și „Y” a panoului de laborator firele de conexiune de la ieșirile „X” și „Y” a osciloscopului H3013, respectând ordinea de conexiune a elementelor de potențial jos. Instalați potențiometrul „Усиление X” (Amplasarea X) în poziție medie și „Усиление Y” (Amplasarea Y) în poziția maximală. Aplicați tensiunea, rotind potențiometrul R_3 în dreapta și stabilind valoarea convenabilă „Усиление X” studiați caracteristica curent-tensiune a diodei tunel de pe ecranul osciloscopului și desenați-o.

Determinați parametrii după oscilogramă.

Studierea diodei tunel în diferite regimuri

a) determinați parametrii de bază a impulsurilor generatorului (fig. 3.3)

În figura 3.3 este reprezentat un generator în impulsuri dreptunghiulare folosind caracteristica DT de forma „N”. principiul de lucru a acestui generator constă în:

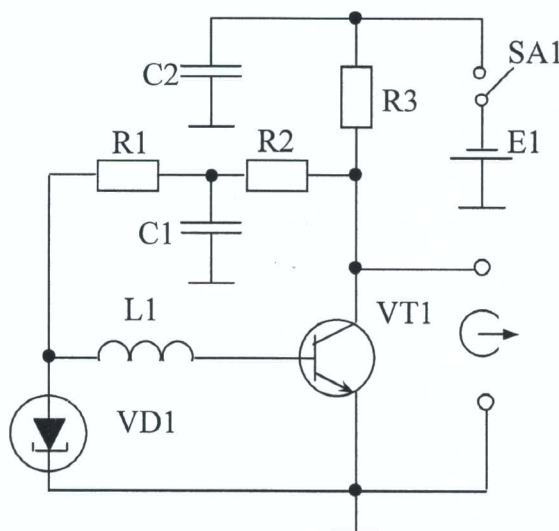


Fig. 3.3 Generator de impulsuri dreptunghiulare.

În starea inițială tranzistorul V_2 este închis, dioda V_1 se află în starea „0”. Ciclul de lucru începe cu încărcarea condensatorului C_1 prin rezistențele R_3 și R_2 . când curentul care trece prin R_1 va ajunge la I_{max} , dioda se va deschide și curentul lui va ajunge la saturație, iar potențialul colectorului tranzistorului V_2 va cădea până la U_c de saturație. Apoi condensatorul C_2 se va descărca prin R_1 și R_2 , până când tensiune pe DT V_1 va deveni mai mică decât tensiunea punctului minim de pe caracteristica curent-tensiune a DT. După aceea dioda tunel se va întoarce în starea inițială zero și tranzistorul se închide. Apoi ciclul se repetă. În acest circuit DT V_1 îndeplinește funcția de memorare iar tranzistorul V_2 – de amplificator al semnalului de pe diodă.

b) determinați parametrii de bază a impulsurilor pe formatul de impulsuri negative (fig. 3.4)

În figura 3.4 este reprezentat formatorul de impulsuri negative cu utilizarea DT.

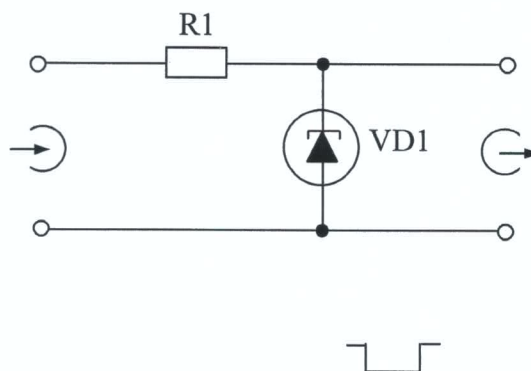


Fig. 3.4. Formatorul de impulsuri negative.

Amplitudinea semnalului la intrarea formatorului cu dioda AU201 alcătuiește 4-5V de polaritate negativă. Pe baza utilizării caracteristicii de forma N are loc ascuțirea frontului impulsului și impulsul de ieșire are un front mai abrupt și rezistența de ieșire a frontului este de ordinul a 20-30Ω în momentul formării părții plane a impulsului. La intrarea formatorului se aplică semnalul de la generatorul de impulsuri. La ieșirea formatorului se conectează osciloscopul C1-77 și determinați fronturile impulsurilor.

c) determinați parametrii de bază a generatorului de benzi periodice (fig. 3.5)

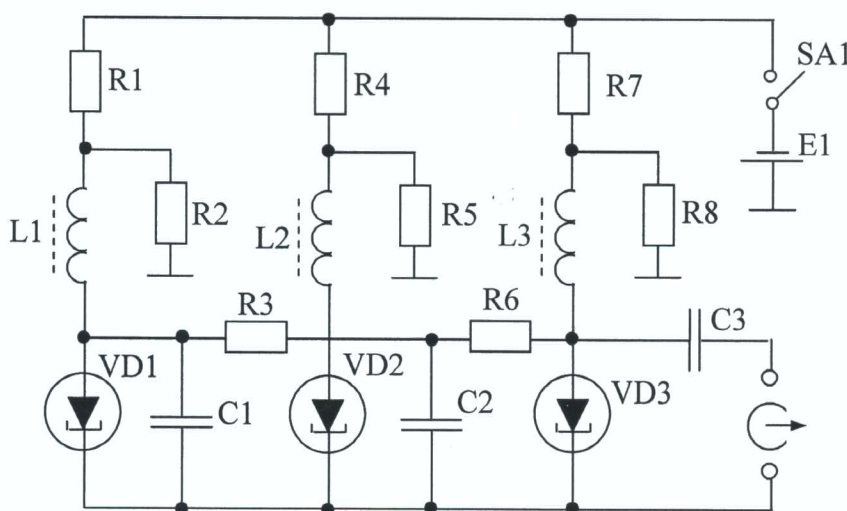


Fig. 3.5. Generator de benzi periodice.

În figura 3.5 este reprezentată schema generatorului de benzi periodice folosit la ajustarea receptoarelor de televiziune. Utilizarea caracteristicilor de tip N a DT permite crearea acestor circuite.

d) determinați parametri impulsurilor a formatorului de impulsuri pozitive (fig.3.6)

În figura 3.6 este reprezentat formatorul de impulsuri pozitive pe baza diodei tunel ce permite startarea sumatorului de impulsuri radio.

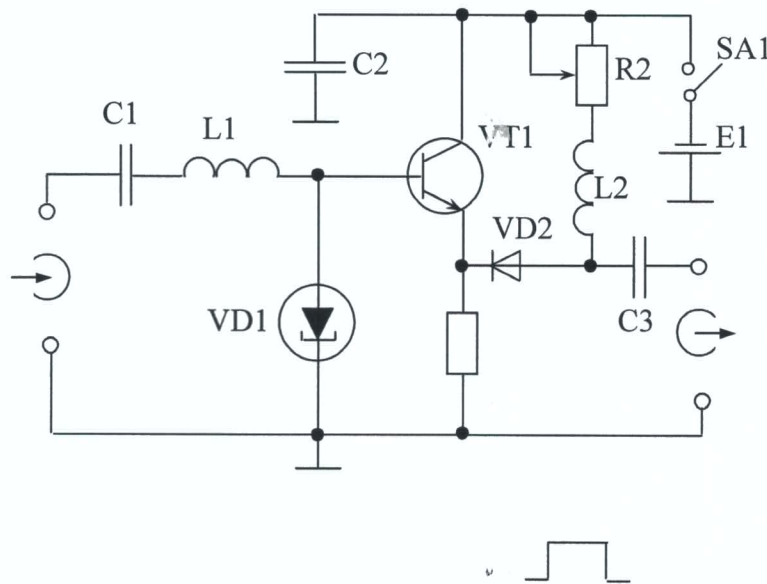


Fig. 3.6. Formatorul de impulsuri pozitive.

Sumatorul funcționează în felul următor: la intrarea formatorului prin C_1 se aplică o tensiunea de intrare sinusoidală cu amplitudinea de 3V și frecvența $f = 200\text{kHz}$. În starea inițială tranzistorul V_2 e închis. În decursul semiperioadei pozitive curentul parcurge prin inducția L_1 . Însă până când $DT - V_1$ nu va trece în stare de tensiune înaltă pe baza T.E.M. (tensiunii electromotoare) de autoinducție în bobina L_1 are loc creșterea bruscă a tensiunii la baza tranzistorului V_2 și ca urmare ultimul se deschide. Tranzistorul V_2 e conectat în circuit cu colector comun (CC), impulsul tensiunii de intrare duce la închiderea diodei V_3 , care pe baza „scoaterii” purtătorilor minoritari formează un impuls scurt. Rezistența verticală R_2 servește la alegerea curentului de încărcare prin dioda V_3 ; inductanța L_2 – pentru mărirea amplitudinii impulsului. La intrarea formatorului „ π ” se implică impulsuri de la generatorul de impulsuri dreptunghiulare fig. 3.3 și la ieșire se conectează oscilograful C1-64.

Conținutul dării de seamă

La darea de seamă pentru lucrarea dată se anexează: tema, scopul lucrării, schemele principale, tabelele cu rezultatele măsurărilor, oscilogramele, graficele, calculele, amănunțite și concluzii cu suprapunerea, compararea rezultatelor experimentale cu datele din catalog.

1. După datele tabelii 3.1 construiți caracteristica volt-amperică (CVA).
2. După dependența CVA $I = f(U)$ determinați parametrii diodei tunel: I_1 , I_2 , U_1 , U_3 .
3. Îndepliniți calculele pentru CVA și parametrii DT. Comparați-le cu datele experimentale.
4. Desenați și determinați parametrii impulsurilor de ieșire.

Întrebări de control

1. Cum variază lățimea regiunii de trecere și rezistența specifică a lui la aplicarea tensiunii pe diodă în direcții directă și inversă?

2. Cum se vor schimba capacitățile de barieră și de difuziune a joncțiunii până la aplicarea tensiunilor directă și inversă a joncțiunii p-n și dependentele lor de tensiune?
3. Care sunt principale cauze a degradării diodelor semiconductoare?
4. Care este condiția autoexcitării schemei cu DT?
5. Care este condiția lucrului stabil a schemei cu DT?
6. Cum este regimul de amplificare și generare a schemelor pe DT?
7. Schemele principale pe DT.
8. Determinarea R_d .
9. Caracteristica parametrilor DT de temperatură.
10. Explicați sensul efectului tunel.

LITERATURA

1. T. Danila, N Reus, V. Boiciu. Dispozitive și circuite electronice. București, 1998.
2. P. Gașin, P. Gaugaș, A. Focșa. Fizica dispozitivelor semiconductoare, F.E.P. Tipografia centrală, Chișinău, 1998.
3. Зи С.М. «Физика полупроводниковых приборов» М., Мир, 1984.