પ્રકરણ ૧૪ – અર્ધવાહક ઇલેક્ટ્રોનિક્સ: દ્રવ્યો, રચનાઓ અને સાદા પરિપથો

PYQ વિશ્લેષણ: પ્રકરણ ૧૪

વિષયનું નામ	પૂછાયેલા MCQs	૨-ગુણ	૩-ગુણ	૪-ગુણ
૧૪.૨ વર્ગીકરણ (બેન્ડ, પ્રકાર)	9	0	0	0
૧૪.૩/૧૪.૪ આંતરિક અને અશુદ્ધ	6	3	1	0
૧૪.૫/૧૪.૬ p-n જંકશન અને બાયસિંગ	3	2	3	1
૧૪.૭ રેક્ટિફાયર	2	0	4	3
૧૪.૮ વિશિષ્ટ હેતુ ડાયોડ (દૂર કરેલ)	0	0	0	0

૧૪.૧ પ્રસ્તાવના

- **ઇલેક્ટ્રોનિક ઉપકરણો** એવા ઉપકરણો છે જેમાં ઇલેક્ટ્રોનનો નિયંત્રિત પ્રવાહ મેળવી શકાય છે.
- ૧૯૪૮ પહેલાં, આ ઉપકરણો મુખ્યત્વે **વેક્યુમ ટ્યુબ** (જેને વાલ્વ પણ કહેવાતા) હતા.
  - ઉદાહરણો: વેક્યુમ ડાયોડ (૨ ઇલેક્ટ્રોડ: એનોડ, કેથોડ), ટ્રાયોડ (૩ ઇલેક્ટ્રોડ: કેથોડ, પ્લેટ, ગ્રીડ), ટેટ્રોડ (૪), અને પેન્ટોડ (૫).
  - વેક્યુમ ટ્યુબમાં, ઇલેક્ટ્રોન *ગરમ કરેલા* કેથોડ દ્વારા પૂરા પાડવામાં આવે છે અને *શૂન્યાવકાશ* માંથી વહે છે.
  - ઇલેક્ટ્રોડ્સ વચ્ચેનો વોલ્ટેજ બદલીને પ્રવાહને નિયંત્રિત કરવામાં આવે છે.
  - તેમને "વાલ્વ" કહેવાતા કારણ કે ઇલેક્ટ્રોન ફક્ત એક જ દિશામાં (કેથોડથી એનોડ) વહી શકતા હતા.
  - **વેક્યુમ ટ્યુબના ગેરફાયદા:** તે **કદમાં મોટા** હોય છે, **વધુ પાવર વાપરે છે, ઊંચા ઓપરેટિંગ વોલ્ટેજ** (~૧૦૦V) ની જરૂર પડે છે, **મર્યાદિત આયુષ્ય** ધરાવે છે, અને **ખૂબ વિશ્વસનીય નથી**.
- આધુનિક ઇલેક્ટ્રોનિક્સ ૧૯૩૦ ના દાયકામાં શરૂ થયેલા **ઘન-અવસ્થા અર્ધવાહકો (સોલિડ-સ્ટેટ સેમિકન્ડક્ટર્સ)** પર આધારિત છે.
- આ ઉપકરણો ઘન પદાર્થની અંદર જ ચાર્જ વાહકો (જેમ કે ઇલેક્ટ્રોન) ની સંખ્યા અને દિશા પર નિયંત્રણની મંજૂરી આપે છે.
- પ્રકાશ, ગરમી, અથવા નાના વોલ્ટેજ જેવા સરળ ઇનપુટ્સ ગતિશીલ ચાર્જની સંખ્યા બદલી શકે છે.
- **અર્ધવાહક ઉપકરણોના ફાયદા:**
  - તે **કદમાં નાના** હોય છે.
  - તે **ઓછો પાવર વાપરે છે**.
  - તે **નીચા વોલ્ટેજ પર કાર્ય કરે છે**.
  - તે **લાંબુ આયુષ્ય** અને **ઉચ્ચ વિશ્વસનીયતા** ધરાવે છે.
  - કોઈ બાહ્ય ગરમી કે શૂન્યાવકાશની જરૂર પડતી નથી.
- વેક્યુમ ટ્યુબ સિદ્ધાંતો પર આધારિત CRT (કેથોડ રે ટ્યુબ) મોનિટર પણ હવે સોલિડ-સ્ટેટ LCD (લિક્વિડ ક્રિસ્ટલ ડિસ્પ્લે) મોનિટર દ્વારા બદલવામાં આવ્યા છે.

૧૪.૨ ધાતુઓ, અવાહકો અને અર્ધવાહકોનું વર્ગીકરણ

વાહકતા (σ) અથવા અવરોધકતા ($\rho = 1/\sigma$) ના આધારે

- **(i) ધાતુઓ (સુવાહકો):** ખૂબ ઓછી અવરોધકતા (ઉચ્ચ વાહકતા) ધરાવે છે.
  - $\rho \sim 10^{-2} - 10^{-8} \, \Omega m$
  - $\sigma \sim 10^{2} - 10^{8} \, S m^{-1}$
- **(ii) અર્ધવાહકો:** ધાતુઓ અને અવાહકોની વચ્ચેની અવરોધકતા અથવા વાહકતા ધરાવે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
  - $\rho \sim 10^{-5} - 10^{6} \, \Omega m$
  - $\sigma \sim 10^{5} - 10^{-6} \, S m^{-1}$
- **(iii) અવાહકો:** ઉચ્ચ અવરોધકતા (ઓછી વાહકતા) ધરાવે છે.
  - $\rho \sim 10^{11} - 10^{19} \, \Omega m$
  - $\sigma \sim 10^{-11} - 10^{-19} \, S m^{-1}$

અર્ધવાહકો આ પ્રકારના હોઈ શકે છે:

- **(i) તાત્વિક અર્ધવાહકો:** Si અને Ge
- **(ii) સંયોજન અર્ધવાહકો:** ઉદાહરણો છે: (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
  - **અકાર્બનિક:** CdS, GaAs, CdSe, InP, વગેરે.
  - **કાર્બનિક:** એન્થ્રેસીન, ડોપ્ડ થેલોસાયનીન્સ, વગેરે.
  - **કાર્બનિક પોલિમર:** પોલીપાયરોલ, પોલીએનિલીન, વગેરે.

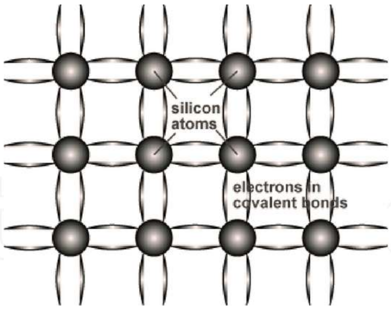
આ પ્રકરણ અકાર્બનિક તાત્વિક અર્ધવાહકો (Si અને Ge) પર ધ્યાન કેન્દ્રિત કરશે.

ઊર્જા બેન્ડ (પટ) ના આધારે

- એક અલગ પરમાણુમાં, ઇલેક્ટ્રોન ચોક્કસ ઊર્જા સ્તરો (કક્ષાઓ) ધરાવે છે.
- જ્યારે પરમાણુઓ ઘન પદાર્થ બનાવવા માટે એકસાથે આવે છે, ત્યારે તેમની બાહ્ય કક્ષાઓ એકબીજા પર આચ્છાદિત થાય છે.
- આનાથી વ્યક્તિગત ઊર્જા સ્તરો વિભાજિત થાય છે અને ઘણા, નજીક-નજીક ગોઠવાયેલા ઊર્જા સ્તરોના સતત પટ્ટાઓ બનાવે છે. આને **ઊર્જા બેન્ડ (Energy bands)** કહે છે.
- **વેલેન્સ બેન્ડ (VB):** ઊર્જા બેન્ડ કે જેમાં વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોનના ઊર્જા સ્તરો શામેલ છે. 0K તાપમાને, આ બેન્ડ અર્ધવાહકો અને

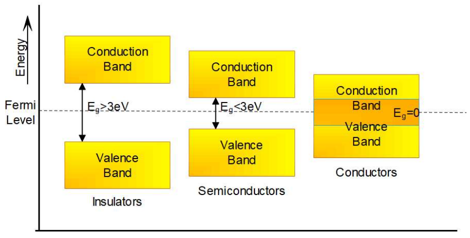
અવાહકોમાં સંપૂર્ણપણે ભરેલો હોય છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)

- **કન્ડક્શન બેન્ડ (CB):** વેલેન્સ બેન્ડની ઉપરનો ઊર્જા બેન્ડ. 0K તાપમાને, આ બેન્ડ અર્ધવાહકો અને અવાહકોમાં સંપૂર્ણપણે ખાલી હોય છે. આ બેન્ડમાં જતા ઇલેક્ટ્રોન મુક્તપણે ફરી શકે છે અને વિદ્યુત વહન માટે જવાબદાર હોય છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- **ઊર્જા ગેપ (E_g):** વેલેન્સ બેન્ડની ટોચ (E_V) અને કન્ડક્શન બેન્ડના તળિયા (E_C) વચ્ચેનો ઊર્જા તફાવત. આ ગેપ મોટો, નાનો અથવા શૂન્ય હોઈ શકે છે, અને તે પદાર્થના વિદ્યુત ગુણધર્મો નક્કી કરે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)



આકૃતિ ૧૪.૧: 0 K તાપમાને અર્ધવાહકમાં ઊર્જા બેન્ડની સ્થિતિ. ઉપરનો બેન્ડ, જેને કન્ડક્શન બેન્ડ કહે છે, તેમાં અસંખ્ય નજીક-નજીક ગોઠવાયેલા ઊર્જા સ્તરો હોય છે. નીચેનો બેન્ડ, જેને વેલેન્સ બેન્ડ કહે છે, તેમાં નજીક-નજીક ગોઠવાયેલા સંપૂર્ણ ભરેલા ઊર્જા સ્તરો હોય છે.

- **કિસ્સો I: ધાતુઓ**
  - કન્ડક્શન બેન્ડ આંશિક રીતે ભરેલો હોય છે, અથવા કન્ડક્શન અને વેલેન્સ બેન્ડ એકબીજા પર આચ્છાદિત (overlap) હોય છે.
  - કોઈ ઊર્જા ગેપ હોતો નથી ($E_g \approx 0$).
  - વેલેન્સ બેન્ડના ઇલેક્ટ્રોન સરળતાથી કન્ડક્શન બેન્ડમાં જઈ શકે છે, જેનાથી વહન માટે મોટી સંખ્યામાં ઇલેક્ટ્રોન ઉપલબ્ધ થાય છે. આના પરિણામે ઉચ્ચ વાહકતા મળે છે.
- **કિસ્સો II: અવાહકો**
  - એક મોટો ઊર્જા ગેપ અસ્તિત્વ ધરાવે છે ($E_g > 3$ eV). વેલેન્સ બેન્ડ સંપૂર્ણપણે ભરેલો હોય છે અને કન્ડક્શન બેન્ડ ખાલી હોય છે. સામાન્ય ઉષ્મીય ઊર્જા દ્વારા ઇલેક્ટ્રોન VB માંથી CB માં ઉત્તેજિત થઈ શકતા નથી, તેથી કોઈ વિદ્યુત વહન શક્ય નથી. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- **કિસ્સો III: અર્ધવાહકો**
  - એક મર્યાદિત પરંતુ નાનો બેન્ડ ગેપ અસ્તિત્વ ધરાવે છે ($E_g < 3$ eV). કારણ કે ગેપ નાનો છે, ઓરડાના તાપમાને વેલેન્સ બેન્ડના કેટલાક ઇલેક્ટ્રોન પૂરતી ઉષ્મીય ઊર્જા મેળવીને ગેપ ઓળંગી કન્ડક્શન બેન્ડમાં પ્રવેશી શકે છે, જે મર્યાદિત વહન માટે પરવાનગી આપે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
  - **સિલિકોન (Si)** માટે, $E_g \approx 1.1$ eV. **જર્મેનિયમ (Ge)** માટે, $E_g \approx 0.7$ eV. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)



આકૃતિ ૧૪.૨: (a) ધાતુઓ, (b) અવાહકો અને (c) અર્ધવાહકોના ઊર્જા બેન્ડ વચ્ચેનો તફાવત.

MCQs (વર્ગીકરણ)

1. **નીચેનામાંથી કયા તત્વ માટે ઊર્જા ગેપ $Eg > 3eV$ હોય છે?**
   (A) અધાતુ (B) મિશ્રધાતુ (C) અર્ધધાતુ (D) ધાતુ
   (March 2024)

2. **Cds એ ક્યા પ્રકારનું અર્ધવાહક છે?**
   (A) કાર્બનિક પોલિમર (B) કાર્બનિક (C) અકાર્બનિક
   (D) તાત્વિક
   (March 2024)

3. **નીચેના પૈકિ કયું અકાર્બનિક સંયોજન અર્ધવાહક છે?**
   (A) GaAs (B) Ge (C) Si (D) પોલિએનિલીન
   (June 2024)

4. **નીચેનામાંથી સંયોજન અર્ધવાહકોની સાચી જોડ પસંદ કરો.**
   (A) GaAs, CdSe (B) CdS, Si (C) InP, Ge (D) Si, Ge
   (June 2025)

5. **ઓરડાના તાપમાને, શુદ્ધ Si માં ઇલેક્ટ્રોનને પ્રતિબંધિત પટ (forbidden band) માંથી કુદકો મારવા માટે જરૂરી ઊર્જા ___ eV છે.**
   (A) 1.1 (B) 0.11 (C) 2.1 (D) 0.21
   (July 2022) (Feb-March 2025)

6. **ધાતુઓનો ઊર્જા ગેપ (E_g) એ અવાહકોના ઊર્જા ગેપ (E_g) કરતાં ___ હોય છે.**
   (A) જેટલો જ (B) વધારે (C) ઓછો
   (D) વધારે અથવા સમાન
   (June 2025)

7. **ધાતુઓ માટે અવરોધકતાઓનો વિસ્તાર લગભગ ___ છે.**
   (A) $10^{-2} - 10^{-8} \Omega m$ (B) $10^{2} - 10^{8} \Omega m$
   (C) $10^{-5} - 10^{6} \Omega m$ (D) $10^{11} - 10^{19} \Omega m$
   (Feb-March 2025)

8. **અર્ધવાહકની અવરોધકતા લગભગ ___ Ωm છે.**
   (A) 10^{-2} થી 10^{-8} (B) 10^{5} થી 10^{-6}
   (C) 10^{11} થી 10^{19} (D) 10^{-5} થી 10^{6}
   (July 2025)

9. **કાર્બન, સિલિકોન અને જર્મેનિયમ દરેકને ચાર વેલેન્સ ઈલેક્ટ્રોન હોય છે. તેમને અનુક્રમે $(E_g)_C, (E_g)_{Si}$ અને $(E_g)_{Ge}$ જેટલા ઊર્જા બેન્ડ ગેપ વડે છુટા પાડતા વેલેન્સ અને કન્ડક્શન બેન્ડ વડે દર્શાવવામાં આવે છે. નીચેનામાંથી કયું વિધાન સત્ય છે?**
   (A) $(E_g)_{Si} < (E_g)_{Ge} < (E_g)_C$< /li>
   (B) $(E_g)_C < (E_g)_{Ge} > (E_g)_{Si}$
   (C) $(E_g)_C > (E_g)_{Si} > (E_g)_{Ge}$
   (D) $(E_g)_C = (E_g)_{Si} = (E_g)_{Ge}$
   (July 2023) (Feb-March 2025) (June 2024) (NCERT Exercise 14.3)

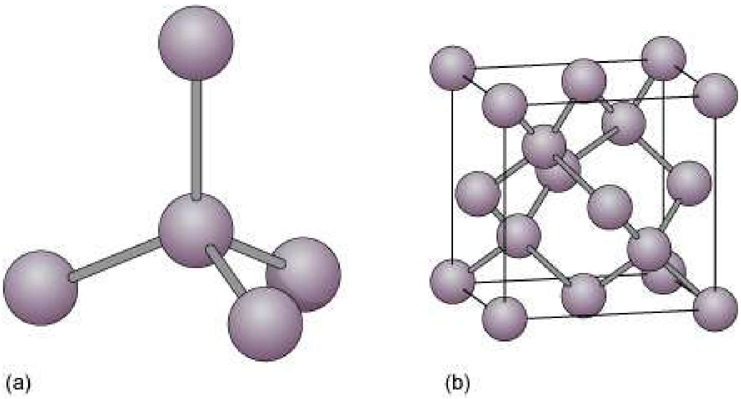
NCERT ઉદાહરણો અને સ્વાધ્યાય

- **ઉદાહરણ ૧૪.૧: C, Si અને Ge સમાન લેટિસ બંધારણ ધરાવે છે. શા માટે C અવાહક છે જ્યારે Si અને Ge આંતરિક અર્ધવાહકો છે?**

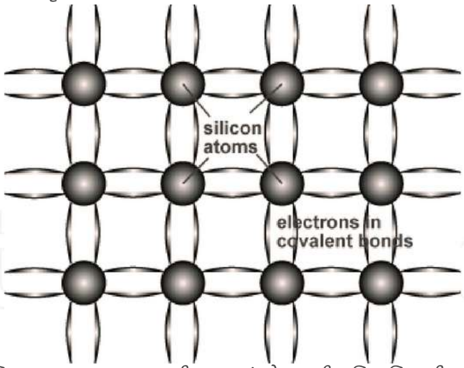
(NCERT Example 14.1)

૧૪.૩ આંતરિક અર્ધવાહક

- શુદ્ધ અર્ધવાહક (જેમ કે Si અથવા Ge) ને **આંતરિક અર્ધવાહક** કહેવામાં આવે છે.
- Si અને Ge **ટેટ્રાવેલેન્ટ** (૪ વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોન ધરાવે છે) છે.
- સ્ફટિક લેટિસમાં, દરેક પરમાણુ તેના ચાર નજીકના પડોશીઓ સાથે એક-એક વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોનની ભાગીદારી કરે છે, આમ ચાર **સહસંયોજક બંધ** બનાવે છે.



આકૃતિ ૧૪.૩: ત્રિ-પરિમાણીય ડાયમંડ જેવી સ્ફટિક રચના



આકૃતિ ૧૪.૪: Si અથવા Ge ની રચનાનું યોજનાકીય દ્વિ-પરિમાણીય નિરૂપણ

- નીચા તાપમાને ($T = 0$ K), બધા સહસંયોજક બંધ અકબંધ હોય છે. બધા ઇલેક્ટ્રોન વેલેન્સ બેન્ડમાં હોય છે, અને કન્ડક્શન બેન્ડ સંપૂર્ણપણે ખાલી હોય છે. વહન માટે કોઈ મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન ન હોવાથી, અર્ધવાહક સંપૂર્ણ અવાહક તરીકે વર્તે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- જેમ જેમ તાપમાન વધે છે ($T > 0$ K), ઉષ્મીય ઊર્જા કેટલાક સહસંયોજક બંધ તોડે છે.
- જ્યારે બંધ તૂટે છે, ત્યારે એક ઇલેક્ટ્રોન મુક્ત થાય છે અને કન્ડક્શન બેન્ડમાં જઈ શકે છે. આ હવે **મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન** (ચાર્જ $-q$) છે.
- તૂટેલા બંધમાં ઇલેક્ટ્રોન માટે ખાલી જગ્યા રહે છે. આ ખાલી જગ્યા, જે સહસંયોજક બંધમાં ખૂટતો ઇલેક્ટ્રોન છે, તે અસરકારક ધન ચાર્જ ($+q$) ધરાવે છે અને તેને **હોલ** કહેવામાં આવે છે. હોલ એક આભાસી મુક્ત કણ તરીકે વર્તે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન અને હોલ બનાવવાની આ પ્રક્રિયાને **ઇલેક્ટ્રોન-હોલ જોડીનું સર્જન** કહે છે.

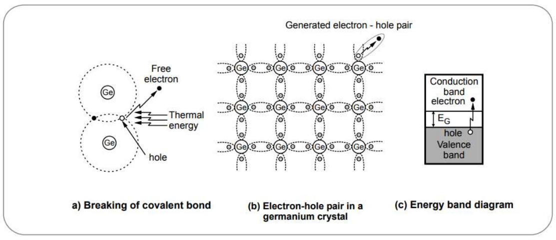
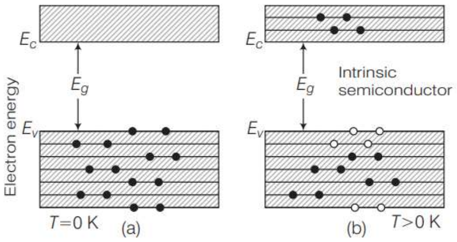


Fig. 0.4.2

આકૃતિ ૧૪.૫: (a) હોલ... અને કન્ડક્શન ઇલેક્ટ્રોન... ના સર્જનનું યોજનાકીય મોડેલ. (b) હોલની શક્ય ઉષ્મીય ગતિનું સરળ નિરૂપણ.

- આંતરિક અર્ધવાહકમાં, મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન અને હોલ હંમેશા જોડીમાં જ ઉત્પન્ન થાય છે. તેથી, મુક્ત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા (n_e) હંમેશા હોલની સંખ્યા (n_h) બરાબર હોય છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- $n_e = n_h = n_i$ (મહત્વનું સૂત્ર)
  જ્યાં n_i એ આંતરિક વાહક ઘનતા છે.
- **હોલની ગતિ:** હોલ એ ખાલી જગ્યા છે. નજીકના સહસંયોજક બંધમાંથી ઇલેક્ટ્રોન તે હોલમાં કૂદી શકે છે, તેને ભરી શકે છે. આનાથી હોલ તે સ્થાન પર "ખસે છે" જ્યાંથી ઇલેક્ટ્રોન આવ્યો હતો.
- **વહન:** આંતરિક અર્ધવાહકમાં પ્રવાહ *બંને* ચાર્જ વાહકોને કારણે હોય છે:
  - **ઇલેક્ટ્રોન પ્રવાહ (I_e):** કન્ડક્શન બેન્ડમાં મુક્ત ઇલેક્ટ્રોનને કારણે.
  - **હોલ પ્રવાહ (I_h):** વેલેન્સ બેન્ડમાં હોલની ગતિને કારણે.
- $I = I_e + I_h$
- **પુનઃસંયોજન (Recombination):** એક મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન હોલને મળી શકે છે, વેલેન્સ બેન્ડમાં પાછો "પડી" શકે છે, અને સહસંયોજક બંધ ફરીથી રચી શકે છે. આ પ્રક્રિયા, જ્યાં ઇલેક્ટ્રોન-હોલ જોડીનો નાશ થાય છે, તેને **પુનઃસંયોજન** કહે છે.
- ઉષ્મીય સંતુલન પર, e-h જોડીના સર્જનનો દર પુનઃસંયોજનના દર જેટલો હોય છે.



આકૃતિ ૧૪.૬: (a) $T = 0K$ પર આંતરિક અર્ધવાહક અવાહકની જેમ વર્તે છે. (b) $T > 0K$ પર, ઉષ્મીય રીતે ઉત્પન્ન થયેલી ચાર ઇલેક્ટ્રોન-હોલ જોડીઓ.

MCQs (આંતરિક)

1. **જો, $n_e =$ મુક્ત ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા અને $n_h =$ હૉલની સંખ્યા, તો આંતરિક અર્ધવાહકોમાં ___.**

   (A) $n_e > n_h$ (B) $n_e = n_h$ (C) $n_h > n_e$

   (D) $n_e = {n_h}^2$

   (March 2022)

2. **શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં તાપમાન વધારતાં ઊર્જા ગૅપ ___.**

   (A) પ્રારંભમાં વધે છે ત્યાર બાદ ઘટે છે. (B) ઘટે છે.

   (C) વધે છે. (D) અચળ રહે છે.

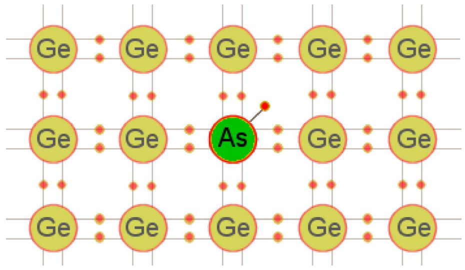
   (July 2025)

૧૪.૪ અશુદ્ધ (કે બાહ્ય) અર્ધવાહક

- આંતરિક અર્ધવાહકોની વાહકતા ખૂબ ઓછી હોય છે અને મોટાભાગના ઉપકરણો માટે ઉપયોગી નથી.
- શુદ્ધ અર્ધવાહકમાં તેની વાહકતા વધારવા માટે, ખૂબ ઓછી માત્રામાં (દા.ત., મિલિયન દીઠ થોડા ભાગ) ઇરાદાપૂર્વક ઇચ્છનીય અશુદ્ધિ ઉમેરવાની પ્રક્રિયાને **ડોપિંગ (doping)** કહે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- અશુદ્ધિના પરમાણુઓને **ડોપન્ટ્સ (dopants)** કહે છે.
- ડોપિંગ કરેલા અર્ધવાહકને **અશુદ્ધ (કે બાહ્ય) અર્ધવાહક** કહે છે.
- ડોપન્ટ પરમાણુનું કદ અર્ધવાહક પરમાણુ (Si અથવા Ge) જેટલું જ હોવું જોઇએ જેથી તે સ્ફટિક લેટિસને વિકૃત ન કરે.
- ડોપન્ટ્સ સામાન્ય રીતે જૂથ ૧૩ (ત્રિ-સંયોજક) અથવા જૂથ ૧૫ (પંચ-સંયોજક) માંથી હોય છે.

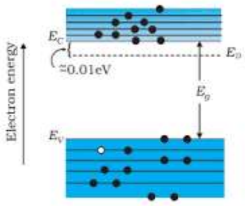
(i) n-પ્રકારનો અર્ધવાહક

- શુદ્ધ ચતુર-સંયોજક અર્ધવાહક (જેમ કે Si અથવા Ge) ને **પંચ-સંયોજક** (સંયોજકતા ૫) અશુદ્ધિ સાથે ડોપિંગ કરીને બનાવવામાં આવે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- **દાતા અશુદ્ધિઓ:** આ પંચ-સંયોજક અશુદ્ધિઓ છે જેમ કે **આર્સેનિક (As)**, **એન્ટિમની (Sb)**, અથવા **ફોસ્ફરસ (P)**. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- પંચ-સંયોજક ડોપન્ટ પરમાણુ (દા.ત., As) એક Si પરમાણુનું સ્થાન લે છે.
- તેના પાંચ વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોનમાંથી ચાર, ચાર પડોશી Si પરમાણુઓ સાથે સહસંયોજક બંધ બનાવે છે.
- પાંચમો ઇલેક્ટ્રોન As પરમાણુ સાથે ખૂબ જ નબળી રીતે બંધાયેલો હોય છે.
- આ પાંચમા ઇલેક્ટ્રોનને મુક્ત કરવા માટે ખૂબ ઓછી ઊર્જા (~૦.૦૧ eV Ge માટે, ~૦.૦૫ eV Si માટે) પૂરતી છે, જે તેને કન્ડક્શન બેન્ડમાં મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન બનાવે છે.
- આ પ્રક્રિયા વેલેન્સ બેન્ડમાં હોલ બનાવતી *નથી*.
- કારણ કે પંચ-સંયોજક પરમાણુ વહન માટે વધારાના ઇલેક્ટ્રોનનું **દાન** કરે છે (હોલ બનાવ્યા વિના), તેને **દાતા અશુદ્ધિ** કહેવામાં આવે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)



આકૃતિ ૧૪.૭: (a) ચતુર-સંયોજક Si અથવા Ge માં n-પ્રકારનો અર્ધવાહક આપતો પંચ-સંયોજક દાતા પરમાણુ... (b) સામાન્ય રીતે વપરાતું યોજનાકીય નિરૂપણ...

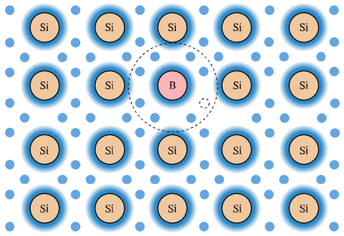
- n-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં, મુક્ત ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ઉષ્મીય રીતે ઉત્પન્ન થતા હોલની સંખ્યા કરતાં ઘણી વધારે હોય છે. આમ, **ઇલેક્ટ્રોન બહુમતી વાહકો (majority carriers)** છે અને **હોલ લઘુમતી વાહકો (minority carriers)** છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- $n_e \gg n_h$
- પાંચમા ઇલેક્ટ્રોનનું ઊર્જા સ્તર (**દાતા સ્તર, E_D**) પ્રતિબંધિત ગેપમાં હોય છે, પરંતુ કન્ડક્શન બેન્ડની ખૂબ નજીક હોય છે. ઇલેક્ટ્રોન સરળતાથી E_D માંથી E_C માં જઇ શકે છે.



આકૃતિ ૧૪.૯(a): $T > 0$K પર n-પ્રકારના અર્ધવાહકના ઊર્જા બેન્ડ.

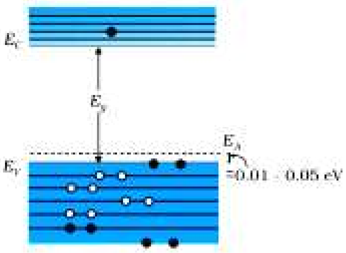
(ii) p-પ્રકારનો અર્ધવાહક

- શુદ્ધ ચતુર-સંયોજક અર્ધવાહક (જેમ કે Si અથવા Ge) ને **ટ્રાઇવેલેન્ટ** (સંયોજકતા ૩) અશુદ્ધિ સાથે ડોપિંગ કરીને બનાવવામાં આવે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- **સ્વીકારનાર અશુદ્ધિઓ:** આ ટ્રાઇવેલેન્ટ અશુદ્ધિઓ છે જેમ કે **ઇન્ડિયમ (In)**, **બોરોન (B)**, અથવા **એલ્યુમિનિયમ (Al)**. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- ટ્રાઇવેલેન્ટ ડોપન્ટ પરમાણુ (દા.ત., B) એક Si પરમાણુનું સ્થાન લે છે.
- તેના ત્રણ વેલેન્સ ઇલેક્ટ્રોન ત્રણ પડોશી Si પરમાણુઓ સાથે સહસંયોજક બંધ બનાવે છે.
- ચોથો બંધ બનાવવા માટે એક ઇલેક્ટ્રોન ખૂટે છે. આ ખાલી જગ્યા એ **હોલ** છે.



આકૃતિ ૧૪.૮: (a) ચતુર-સંયોજક Si અથવા Ge લેટિસમાં p-પ્રકારનો અર્ધવાહક આપતો ટ્રાઇવેલેન્ટ સ્વીકારનાર પરમાણુ... (b) સામાન્ય રીતે વપરાતું યોજનાકીય નિરૂપણ...

- નજીકના Si પરમાણુમાંથી ઇલેક્ટ્રોન સરળતાથી આ હોલમાં કૂદી શકે છે (ખૂબ ઓછી ઊર્જાની જરૂર પડે છે), જેના કારણે હોલ ખસે છે.
- કારણ કે ટ્રાઇવેલેન્ટ પરમાણુ હોલ બનાવે છે, જે તેની રચના પૂર્ણ કરવા માટે પડોશી બંધમાંથી ઇલેક્ટ્રોન સરળતાથી **સ્વીકારી** શકે છે, તેને **સ્વીકારનાર અશુદ્ધિ** કહેવામાં આવે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- p-પ્રકારના અર્ધવાહકમાં, હોલની સંખ્યા (ડોપિંગમાંથી) ઉષ્મીય રીતે ઉત્પન્ન થતા ઇલેક્ટ્રોનની સંખ્યા કરતાં ઘણી વધારે હોય છે. આમ, **હોલ બહુમતી વાહકો (majority carriers)** છે અને **ઇલેક્ટ્રોન લઘુમતી વાહકો (minority carriers)** છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- $n_h \gg n_e$
- હોલનું ઊર્જા સ્તર (**સ્વીકારનાર સ્તર, E_A**) પ્રતિબંધિત ગેપમાં હોય છે, પરંતુ વેલેન્સ બેન્ડની ખૂબ નજીક હોય છે. ઇલેક્ટ્રોન સરળતાથી E_V માંથી E_A માં કૂદી શકે છે, જે VB માં હોલ છોડી દે છે.



આકૃતિ ૧૪.૯(b): $T > 0K$ પર p-પ્રકારના અર્ધવાહકના ઊર્જા બેન્ડ.

- **એકંદરે વિદ્યુતભાર તટસ્થતા:** ડોપિંગ કર્યા પછી પણ, સ્ફટિક એકંદરે વિદ્યુતની દૃષ્ટિએ તટસ્થ રહે છે. દાતા આયનોનો ધન ચાર્જ (n-પ્રકારમાં) વધારાના મુક્ત ઇલેક્ટ્રોનના ચાર્જને સંતુલિત કરે છે. સ્વીકારનાર આયનોનો ઋણ ચાર્જ (p-પ્રકારમાં) વધારાના હોલના ચાર્જને સંતુલિત કરે છે.
- **માસ એક્શન નિયમ (Mass Action Law):** ઉષ્મીય સંતુલનમાં કોઈપણ અર્ધવાહક (આંતરિક કે અશુદ્ધ) માં, ઇલેક્ટ્રોન અને હોલની ઘનતાનો ગુણાકાર અચળ હોય છે અને આંતરિક વાહક ઘનતાના વર્ગ (n_i^2) બરાબર હોય છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- $n_e n_h = n_i^2$ (મહત્વનું સૂત્ર)
- ડોપિંગ એક પ્રકારના વાહકની સંખ્યા (દા.ત., n_e) વધારે છે અને પુનઃસંયોજન દ્વારા, બીજા પ્રકારના વાહકની સંખ્યા (n_h) ઘટાડે છે જેથી $n_e n_h$ ગુણાકાર અચળ રહે.

MCQs (અશુદ્ધ/ડોપિંગ)

1. **સિલિકોન સ્ફટિકમાં અલ્પ માત્રામાં એન્ટિમનીનું ડોપીંગ કરવામાં આવે તો સિલિકોન સ્ફટિક ___.**

   (A) સારો અવાહક છે. (B) P-પ્રકારનો અર્ધવાહક બને છે.

   (C) N-પ્રકારનો અર્ધવાહક બને છે. (D) સારો સુવાહક બને છે.

   (July 2025)

2. **ધારો કે શુદ્ધ Si સ્ફટિકમાં 5×10^{28} પરમાણુ m^{-3} છે. તેને 1ppm ઘનતા (સાંદ્રતા) સાથે As વડે ડોપ કરવામાં આવે છે. ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા ઘનતા ___ થશે. (આપેલ છે $n_i = 1.5 \times 10^{16} m^{-3}$)**

   (A) $5 \times 10^{28} m^{-3}$ (B) $5 \times 10^{16} m^{-3}$

   (C) $4.5 \times 10^{9} m^{-3}$ (D) $5 \times 10^{22} m^{-3}$

   (Feb-March 2025) (NCERT Example 14.2) (May 2021) (March 2024) (June 2025) (July 2025)

3. **p- પ્રકારના અર્ધવાહક માટે નીચેના વિધાનોમાંથી કયું સાચું છે?**

   (A) હોલ્સ મેજોરિટી વાહકો છે અને ટ્રાઈવેલેન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.

   (B) ઈલેક્ટ્રોન માઈનોરિટી વાહકો છે અને પેન્ટાવેલેન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.

   (C) હોલ્સ માઈનોરિટી વાહકો છે અને પેન્ટાવેલેન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.

   (D) ઈલેક્ટ્રોન મેજોરિટી વાહકો છે અને ટ્રાઈવેલેન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.

   (March 2024) (NCERT Exercise 14.2)

4. **n- પ્રકારના સિલિકોન માટે નીચેના વિધાનોમાંથી કયું સાચું છે?**

   (A) ઈલેક્ટ્રોન મેજોરિટી વાહકો છે અને ટ્રાઈવેલેન્ટ પરમાણુ ડોપન્ટ છે.

   (B) હોલ્સ મેજોરિટી વાહકો છે અને ટ્રાઈવેલેલન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.

   (C) ઈલેક્ટ્રોન માઈનોરિટી વાહકો છે અને પેન્ટાવેલન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.

   (D) હોલ્સ માઈનોરિટી વાહકો છે અને પેન્ટાવેલન્ટ પરમાણુઓ ડોપન્ટ છે.

   (June 2024) (NCERT Exercise 14.1)

લખિત PYQs (અશુદ્ધ/ડોપિંગ)

૨-ગુણના પ્રશ્નો

- **P પ્રકારના અર્ધવાહક પર નોંધ લખો.**

  (March 2018) (Feb-March 2025)

- **P-પ્રકારના અને N- પ્રકારના અર્ધવાહક વચ્ચેનો તફાવત લખો. (ચાર મુદા)**

  (March 2023) (June 2025) (July 2025)

- **ધારો કે શુદ્ધ Si સ્ફટિકમાં 5×10^{28} પરમાણુ m^{-3} છે. તેને 1 ppm ઘનતા (સાંદ્રતા) સાથે પેન્ટાવેલેન્ટ As વડે ડોપ કરવામાં આવે છે. ઈલેક્ટ્રોન અને હોલની સંખ્યા ગણો. આપેલ છે કે $(n_i = 1.5 \times 10^{16} m^{-3})$.**

  (March 2024) (NCERT Example 14.2) (May 2021) (Feb-March 2025) (June 2025) (July 2025)

૩-ગુણના પ્રશ્નો

- **ધારો કે શુદ્ધ Si સ્ફટિકમાં 5×10^{28} પરમાણુ m^{-3} છે. તેને 1 ppm ઘનતા (સાંદ્રતા) સાથે પેન્ટાવેલેન્ટ As વડે ડોપ કરવામાં આવે છે. ઈલેક્ટ્રોન અને હોલની સંખ્યા ગણો. આપેલ છે કે $(n_i = 1.5 \times 10^{16} m^{-3})$.**

  (May 2021) (June 2025) (July 2025) (NCERT Example 14.2) (March 2024) (Feb-March 2025)

૧૪.૫ P-N જંકશન

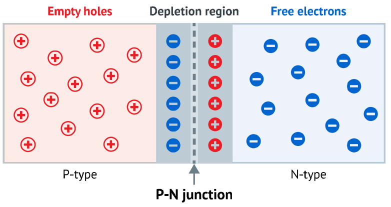
- **p-n જંકશન** એ ડાયોડ અને ટ્રાન્ઝિસ્ટર જેવા ઉપકરણોનો મૂળભૂત બિલ્ડીંગ બ્લોક છે. તે ત્યારે રચાય છે જ્યારે p-પ્રકાર અને n-પ્રકારના અર્ધવાહકને એક જ સ્ફટિક વેફર પર એકસાથે જોડવામાં આવે છે.

૧૪.૫.૧ p-n જંકશનની રચના

- બે મહત્વપૂર્ણ પ્રક્રિયાઓ થાય છે: **વિસરણ (diffusion)** અને **ડ્રિફ્ટ (drift)**.
- **૧. વિસરણ:** જંકશનની બંને બાજુઓ વચ્ચે ઘનતાના તફાવત (gradient) ને કારણે, બહુમતી વાહકો તેની આરપાર વિસરણ પામે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
  - શરૂઆતમાં, p-બાજુ પર હોલની ઊંચી ઘનતા અને n-બાજુ પર ઈલેક્ટ્રોનની ઊંચી ઘનતા હોય છે.

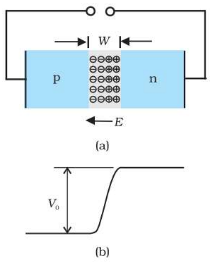
- હોલ p-બાજુથી n-બાજુ ($p \to n$) તરફ વિસરણ પામે છે.
- ઇલેક્ટ્રોન n-બાજુથી p-બાજુ ($n \to p$) તરફ વિસરણ પામે છે.
- ચાર્જની આ ગતિ **વિસરણ પ્રવાહ (diffusion current)** બનાવે છે.

- **૨. ડેપ્લેશન વિસ્તારની રચના:** જ્યારે બહુમતી વાહકો વિસરણ પામે છે, ત્યારે તેઓ પાછળ સ્થિર આયનાઇઝ્ડ ડોપન્ટ પરમાણુઓ (n-બાજુ પર ધન દાતા આયનો, p-બાજુ પર ઋણ સ્વીકારનાર આયનો) છોડી દે છે. જંકશનની નજીકનો આ વિસ્તાર, જે ગતિશીલ ચાર્જ વાહકોથી ખાલી થઈ ગયો છે, તેને **ડેપ્લેશન વિસ્તાર (depletion region)** અથવા **સ્પેસ-ચાર્જ વિસ્તાર** કહે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઈન)
    - તેની જાડાઈ માઇક્રોમીટરના દસમા ભાગના ક્રમની હોય છે.



આકૃતિ ૧૪.૧૦: p-n જંક્શન રચના પ્રક્રિયા, વિસરણ અને ડ્રિફ્ટ દર્શાવે છે.

- **૩. ડ્રિફ્ટ અને બેરિયર પોટેન્શિયલ:**
    - સ્થિર ધન આયનો (n-બાજુ) અને ઋણ આયનો (p-બાજુ) નું સ્તર એક આંતરિક વિદ્યુત ક્ષેત્ર (E) બનાવે છે જે n-બાજુથી p-બાજુ તરફ નિર્દેશિત હોય છે.
    - આ ક્ષેત્ર **ડ્રિફ્ટ પ્રવાહ (drift current)** નું કારણ બને છે, જે વિસરણ પ્રવાહની વિરુદ્ધ હોય છે. તે લઘુમતી વાહકોને જંક્શનની *આરપાર* ધકેલે છે (ઇલેક્ટ્રોન $p \to n$ થી, હોલ $n \to p$ થી).
    - વિસરણ પ્રક્રિયા ત્યાં સુધી ચાલુ રહે છે જ્યાં સુધી ડ્રિફ્ટ પ્રવાહ વિસરણ પ્રવાહ જેટલો અને વિરુદ્ધ ન થાય. આ બિંદુએ (સંતુલન), કોઈ ચોખ્ખો પ્રવાહ હોતો નથી.
    - ડેપ્લેશન વિસ્તારમાં ધન અને ઋણ આયનોના સ્તર દ્વારા બનાવેલ પોટેન્શિયલ તફાવતને **બેરિયર પોટેન્શિયલ (barrier potential)** અથવા **બિલ્ટ-ઇન પોટેન્શિયલ (V_0)** કહે છે. આ પોટેન્શિયલ અવરોધ બહુમતી વાહકોના વધુ વિસરણને અટકાવે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઈન)



આકૃતિ ૧૪.૧૧: (a) સંતુલન હેઠળ ડાયોડ ($V = 0$), (b) કોઈ બાયસ વિના બેરિયર પોટેન્શિયલ V_0.

MCQs (p-n જંક્શન)

1. **બાયસિંગ કર્યા વગરના p-n જંક્શનમાં, હોલ p-વિસ્તારમાંથી n - વિસ્તારમાં વિસરણ (Diffuse) પામે છે કારણ કે,**

   (A) n - વિસ્તારના મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન તેમને આકર્ષે છે.

   (B) તેઓ સ્થિતિમાનના તફાવતના કારણે જંક્શનમાં થઈને ગતિ કરે છે.

   (C) p - વિસ્તારમાં હોલની સંખ્યા ઘનતા n-વિસ્તાર કરતાં વધુ હોય છે.

   (D) ઉપરના બધાજ.

   (June 2025) (June 2024) (NCERT Exercise 14.4)

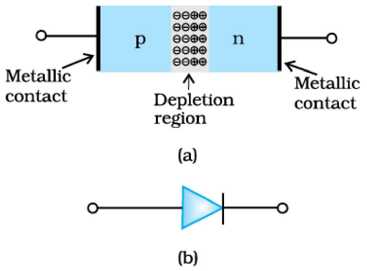
NCERT ઉદાહરણો અને સ્વાધ્યાય

- **ઉદાહરણ ૧૪.૩: શું આપણે p-પ્રકારના અર્ધવાહકની એક સ્લેબ લઈ તેને n-પ્રકારના અર્ધવાહકની બીજી સ્લેબ સાથે ભૌતિક રીતે જોડીને p-n જંક્શન મેળવી શકીએ?**

  (NCERT Example 14.3)

૧૪.૬ સેમિકન્ડક્ટર ડાયોડ

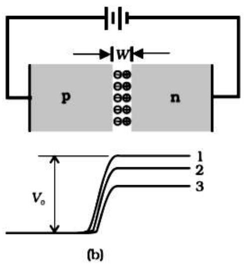
- **સેમિકન્ડક્ટર ડાયોડ** એ p-n જંક્શન છે જેના છેડે ધાતુના સંપર્કો (metallic contacts) પૂરા પાડવામાં આવે છે. તે બે-ટર્મિનલ ઉપકરણ છે.
- ચિહ્નમાં તીર એ પરંપરાગત પ્રવાહ (ધન ચાર્જનો પ્રવાહ) ની દિશા દર્શાવે છે જ્યારે ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસ્ડ હોય.



આકૃતિ ૧૪.૧૨: (a) એક સેમિકન્ડક્ટર ડાયોડ, (b) p-n જંક્શન ડાયોડ માટે સંજ્ઞા.

૧૪.૬.૧ ફોરવર્ડ બાયસ હેઠળ p-n જંક્શન ડાયોડ

- ડાયોડ **ફોરવર્ડ બાયસ્ડ** કહેવાય છે જ્યારે બાહ્ય વોલ્ટેજ V એવી રીતે લાગુ કરવામાં આવે કે p-છેડો બેટરીના ધન ધ્રુવ સાથે અને n-છેડો ઋણ ધ્રુવ સાથે જોડાયેલ હોય. આ લાગુ કરેલ વોલ્ટેજ બેરિયર પોટેન્શિયલનો વિરોધ કરે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઈન)

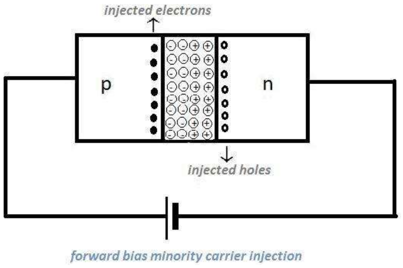


આકૃતિ ૧૪.૧૩: (a) ફોરવર્ડ બાયસ હેઠળ p-n જંક્શન ડાયોડ. (b) બેરિયર પોટેન્શિયલ ઘટે છે.

- બાહ્ય વોલ્ટેજ V બેરિયર પોટેન્શિયલ V_0 નો વિરોધ કરે છે. અસરકારક બેરિયરની ઊંચાઈ **ઘટીને** ($V_0 - V$) થાય છે, અને ડેપ્લેશન સ્તરની પહોળાઈ **ઘટે છે**. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઈન)
- જો V પૂરતો મોટો હોય, તો ઘણા બહુમતી વાહકો (p માંથી હોલ, n માંથી ઇલેક્ટ્રોન) જંક્શન ઓળંગી શકે છે.
- ઘટેલો બેરિયર બહુમતી વાહકોને મોટી સંખ્યામાં જંક્શનની આરપાર વિસરણ પામવાની મંજૂરી આપે છે. p-બાજુથી હોલ n-બાજુએ જાય છે, અને n-બાજુથી ઇલેક્ટ્રોન p-બાજુએ જાય છે. આ પ્રક્રિયાને **લઘુમતી વાહક ઇન્જેક્શન (minority carrier injection)** કહે

છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)

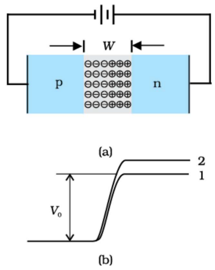
- આ ઇન્જેક્શન અને ત્યારબાદ વાહકોનું વિસરણ મોટા **વિસરણ પ્રવાહ** માં પરિણમે છે જે p થી n તરફ વહે છે. ફોરવર્ડ પ્રવાહ મોટો હોય છે, સામાન્ય રીતે **મિલિએમ્પીયર (mA)** માં. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)



આકૃતિ ૧૪.૧૪: ફોરવર્ડ બાયસ લઘુમતી વાહક ઇન્જેક્શન.

૧૪.૬.૨ રિવર્સ બાયસ હેઠળ p-n જંક્શન ડાયોડ

- ડાયોડ **રિવર્સ બાયસ્ડ** કહેવાય છે જ્યારે p-છેડો બેટરીના ઋણ ધ્રુવ સાથે અને n-છેડો ધન ધ્રુવ સાથે જોડાયેલ હોય. આ લાગુ કરેલ વોલ્ટેજ બેરિયર પોટેન્શિયલને *મદદ* કરે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)

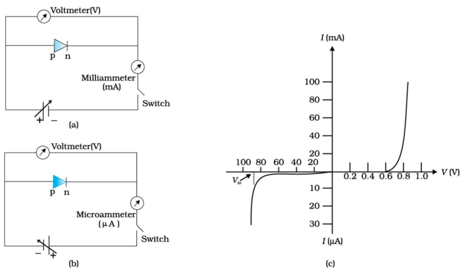


આકૃતિ ૧૪.૧૫: (a) રિવર્સ બાયસ હેઠળ ડાયોડ. (b) બેરિયર પોટેન્શિયલ વધે છે.

- બાહ્ય વોલ્ટેજ V બેરિયર પોટેન્શિયલ V_0 માં ઉમેરાય છે. અસરકારક બેરિયરની ઊંચાઇ **વધીને** $(V_0 + V)$ થાય છે, અને ડેપ્લેશન સ્તરની પહોળાઇ **વધે છે**. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- ઊંચો બેરિયર બહુમતી વાહકોના પ્રવાહ (વિસરણ) ને અટકાવે છે.
- જોકે, મજબૂત વિદ્યુત ક્ષેત્ર લઘુમતી વાહકોને જંક્શનની આરપાર સરળતાથી ખેંચી લે છે (ઇલેક્ટ્રોન $p \to n$ થી, હોલ $n \to p$ થી).
- આ એક નાનો **ડ્રિફ્ટ પ્રવાહ** બનાવે છે, જેને **રિવર્સ સેચ્યુરેશન પ્રવાહ** કહે છે.
- આ પ્રવાહ ખૂબ નાનો હોય છે (**માઇક્રોએમ્પીયર, μA** માં) કારણ કે તે ફક્ત ઉષ્મીય રીતે ઉત્પન્ન થયેલા લઘુમતી વાહકોની ઘનતા પર આધાર રાખે છે. તેને **રિવર્સ સેચ્યુરેશન પ્રવાહ** કહે છે અને તે રિવર્સ વોલ્ટેજ પર લગભગ આધાર રાખતો નથી (બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ સુધી). (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- **બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ (V_{br}):** જો રિવર્સ વોલ્ટેજ ખૂબ ઊંચો કરવામાં આવે, તો પ્રવાહ અચાનક તીવ્રપણે વધે છે. આને રિવર્સ બ્રેકડાઉન કહે છે, અને જો પ્રવાહ મર્યાદિત ન હોય તો તે ડાયોડનો નાશ કરી શકે છે.

p-n જંક્શન ડાયોડની V-I લાક્ષણિકતાઓ

- આ પ્રવાહ (I) વિરુદ્ધ લાગુ વોલ્ટેજ (V) નો આલેખ છે.



આકૃતિ ૧૪.૧૬: p-n જંક્શન ડાયોડની V-I લાક્ષણિકતાઓનો અભ્યાસ કરવા માટે પ્રાયોગિક પરિપથ ગોઠવણ (a) ફોરવર્ડ બાયસમાં, (b) રિવર્સ બાયસમાં. (c) સિલિકોન ડાયોડની લાક્ષણિક V-I લાક્ષણિકતાઓ.

- **ફોરવર્ડ બાયસ વિસ્તાર (પ્રથમ ચરણ):**
- ફોરવર્ડ બાયસમાં, પ્રવાહ ખૂબ નાનો (લગભગ શૂન્ય) હોય છે જ્યાં સુધી લાગુ વોલ્ટેજ બેરિયર પોટેન્શિયલને પાર કરવા માટે પૂરતો મોટો ન થાય. આ વોલ્ટેજને **થ્રેશોલ્ડ વોલ્ટેજ** અથવા **કટ-ઇન વોલ્ટેજ** કહે છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- કટ-ઇન વોલ્ટેજ: **Ge** માટે ~ 0.2 V, **Si** માટે ~ 0.7 V. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- આ વોલ્ટેજથી ઉપર, પ્રવાહ ઘાતાંકીય રીતે વધે છે. ડાયોડનો અવરોધ ખૂબ ઓછો હોય છે.
- **રિવર્સ બાયસ વિસ્તાર (ત્રીજું ચરણ):**
- પ્રવાહ ખૂબ નાનો (μA) અને લગભગ અચળ હોય છે. આ રિવર્સ સેચ્યુરેશન પ્રવાહ છે.
- ડાયોડનો અવરોધ ખૂબ ઊંચો હોય છે.
- બ્રેકડાઉન વોલ્ટેજ (V_{br}) પર, પ્રવાહ નાટકીય રીતે વધે છે.
- આ દર્શાવે છે કે ડાયોડ એક-માર્ગીય ઉપકરણ છે: તે ફોરવર્ડ બાયસમાં સરળતાથી પ્રવાહ પસાર થવા દે છે પરંતુ રિવર્સ બાયસમાં તેને અવરોધે છે. આ ગુણધર્મ રેક્ટિફિકેશન માટે વપરાય છે.
- **ડાયનેમિક અવરોધ (r_d):** બદલાતા AC સિગ્નલ માટે ડાયોડ દ્વારા અપાતો અવરોધ.
- $r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ (મહત્વનું સૂત્ર)

MCQs (ડાયોડ/બાયસ)

1. **જ્યારે p-n જંક્શનને ફોરવર્ડ બાયસ આપવામાં આવે ત્યારે, તે**

   (A) પોટેન્શિયલ બેરિયરની ઊંચાઇ વધારે છે.

   (B) બહુમતી વાહકોનો પ્રવાહ ઘટાડીને શૂન્ય કરે છે.

   (C) પોટેન્શિયલ બેરિયરની ઊંચાઇ ઘટાડે છે.

   (D) ઉપરનામાંથી એકપણ નહિ.

   (March 2023) **(March 2022)** **(Feb-March 2025)** **(March 2024)** **(NCERT Exercise 14.5)**

2. **અનંત રીવર્સ બાયસ અવરોધ ધરાવતા ડાયોડને આકૃતિમાં દર્શાવેલ પરિપથમાં જોડેલ છે. તો I_1 અને I_2 ના મુલ્યો અનુક્રમે ___ હશે.**

   (A) 0.0A; 0.0A (B) 10.0A; 0.0 A (C) 0.2A; 0.0A

   (D) 0.0A; 0.2 A

   (March 2024)

લખિત PYQs (ડાયોડ/બાયસ)

૨-ગુણના પ્રશ્નો

- **P-N જંક્શન ડાયોડની ફોરવર્ડ બાયસ લાક્ષણિકતા વક્ર મેળવવા માટેનો પરિપથ દોરો અને સમજાવો.**

(March 2017)

- **ફોરવર્ડ બાયસની અસર હેઠળના p-n જંક્શન ડાયોડની ચર્ચા કરો.**

(June 2024)

૩-ગુણના પ્રશ્નો

- **$p-n$ જંક્શન ડાયોડની $v-I$ લાક્ષણિકતાઓના અભ્યાસ કરવા માટે a) ફોરવર્ડ બાયસ પરિપથ b) રિવર્સ બાયસ પરિપથ દોરો. સિલિકોન ડાયોડની ચોક્કસ પ્રકારની $v-I$ લાક્ષણિક્તાઓ પણ દોરો.**

(July 2022)

- **p-n જંકશન ડાયોડ ફોરવર્ડ બાયસમાં છે તેમ ક્યારે કહેવાય? તેની V - I ની લાક્ષણિકતા દોરો અને ફોરવર્ડ બાયસિંગ સમજાવો.**

(July 2023)

- **P-N જંકશન ડાયોડની રીવર્સ બાયસ V-I લાક્ષણિકતાના અભ્યાસ માટે પરિપથની પ્રાયોગિક ગોઠવણી દોરો અને રીવર્સ બાયસ લાક્ષણિકતા સમજાવો.**

(July 2025)

૪-ગુણના પ્રશ્નો

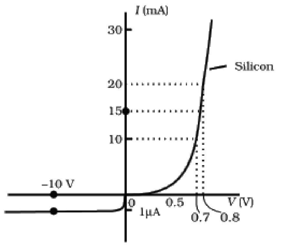
- **p-n જંક્શન ડાયોડના ફોરવર્ડ બાયસ અને રીવર્સ બાયસ વચ્ચે તફાવતના મુદ્દાઓ જણાવો. (ચાર-ચાર મુદ્દાઓ)**

(Feb-March 2025)

NCERT ઉદાહરણો અને સ્વાધ્યાય

- **ઉદાહરણ ૧૪.૪: સિલિકોન ડાયોડની V-I લાક્ષણિકતા આકૃતિ ૧૪.૧૭ માં દર્શાવેલ છે. ડાયોડનો અવરોધ (a) $I_D = 15$ mA અને (b) $V_D = -10\ V$ પર ગણો.**

(NCERT Example 14.4)



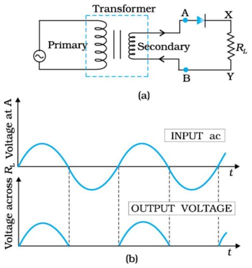
આકૃતિ ૧૪.૧૭

૧૪.૭ જંકશન ડાયોડનો રેક્ટિફાયર તરીકે ઉપયોગ

- **રેક્ટિફિકેશન (Rectification)** એ વૈકલ્પિક વોલ્ટેજ (ac), જે સમયાંતરે દિશા ઉલટાવે છે, તેને એકદિશ (dc) વોલ્ટેજમાં રૂપાંતરિત કરવાની પ્રક્રિયા છે. (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)
- આ માટે વપરાતા પરિપથને **રેક્ટિફાયર** કહે છે.

અર્ધ-તરંગ રેક્ટિફાયર (Half-Wave Rectifier)

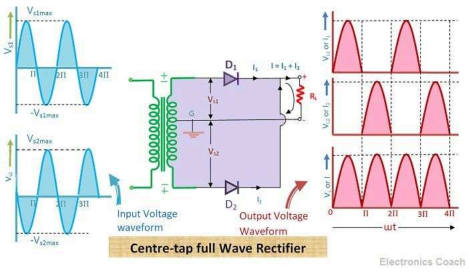
- લોડ અવરોધ (R_L) સાથે શ્રેણીમાં એક જ ડાયોડનો ઉપયોગ કરે છે.
- ac વોલ્ટેજ (સામાન્ય રીતે ટ્રાન્સફોર્મર દ્વારા) પૂરો પાડવામાં આવે છે.
- **કાર્યપદ્ધતિ:**
  - ac ઇનપુટના **ધન અર્ધ-ચક્ર** દરમિયાન, ડાયોડ **ફોરવર્ડ બાયસ્ડ** હોય છે. તે બંધ સ્વીચની જેમ કાર્ય કરે છે અને પ્રવાહનું વહન કરે છે. R_L ની આસપાસ વોલ્ટેજ દેખાય છે.
  - **ઋણ અર્ધ-ચક્ર** દરમિયાન, ડાયોડ **રિવર્સ બાયસ્ડ** હોય છે. તે ખુલ્લી સ્વીચની જેમ કાર્ય કરે છે અને વહન કરતું નથી. પ્રવાહ અને આઉટપુટ વોલ્ટેજ શૂન્ય હોય છે.
- આઉટપુટ વોલ્ટેજ ધન સ્પંદનોની શ્રેણી છે. કારણ કે ઇનપુટ ac તરંગનો માત્ર અડધો ભાગ જ આઉટપુટમાં હાજર છે, તેને અર્ધ-તરંગ રેક્ટિફાયર કહે છે.
- આઉટપુટ વેવફોર્મમાં ઇનપુટ ac ના દરેક પૂર્ણ ચક્ર માટે એક ધન પલ્સ હોય છે. તેથી, આઉટપુટ આવૃત્તિ એ ઇનપુટ ac આવૃત્તિ જેટલી જ હોય છે. (દા.ત., જો $f_{in} = 50$ Hz, તો $f_{out} = 50$ Hz). (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)



આકૃતિ ૧૪.૧૮: (a) અર્ધ-તરંગ રેક્ટિફાયર પરિપથ, (b) ઇનપુટ ac વોલ્ટેજ અને રેક્ટિફાયર પરિપથમાંથી આઉટપુટ વોલ્ટેજ વેવફોર્મ્સ.

પૂર્ણ-તરંગ રેક્ટિફાયર (Full-Wave Rectifier)

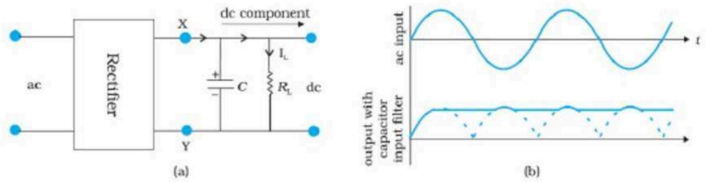
- આ પરિપથ ac ચક્રના બંને અર્ધ-ભાગોનું રેક્ટિફિકેશન કરે છે.
- એક સામાન્ય પ્રકાર બે ડાયોડ (D_1, D_2) અને **સેન્ટર-ટેપ ટ્રાન્સફોર્મર**નો ઉપયોગ કરે છે.
- ડાયોડની p-બાજુઓ ટ્રાન્સફોર્મર સેકન્ડરીના બે છેડા (A અને B) સાથે જોડાય છે.
- n-બાજુઓને જોડવામાં આવે છે, અને આઉટપુટ લોડ R_L આ સામાન્ય બિંદુ અને સેન્ટર ટેપ વચ્ચે જોડાયેલ છે.
- **કાર્યપદ્ધતિ:**
  - **ધન અર્ધ-ચક્ર** દરમિયાન: છેડો A ધન છે, B ઋણ છે. D_1 ફોરવર્ડ બાયસ્ડ છે અને વહન કરે છે. D_2 રિવર્સ બાયસ્ડ છે અને વહન કરતું નથી. R_L માંથી પ્રવાહ વહે છે.
  - **ઋણ અર્ધ-ચક્ર** દરમિયાન: છેડો A ઋણ છે, B ધન છે. D_1 રિવર્સ બાયસ્ડ છે. D_2 ફોરવર્ડ બાયસ્ડ છે અને વહન કરે છે. R_L માંથી પ્રવાહ *પહેલાની જેમ જ દિશામાં* વહે છે.
- *બંને* અર્ધ-ચક્રો માટે આઉટપુટ પલ્સ મેળવવામાં આવે છે. આ વધુ કાર્યક્ષમ છે.
- આઉટપુટ વેવફોર્મમાં ઇનપુટ ac ના દરેક પૂર્ણ ચક્ર માટે બે ધન પલ્સ હોય છે (એક ધન અર્ધ-ચક્ર માટે, એક ઋણ માટે). તેથી, આઉટપુટ આવૃત્તિ એ ઇનપુટ ac આવૃત્તિ કરતાં બમણી હોય છે. (દા.ત., જો $f_{in} = 50$ Hz, તો $f_{out} = 100$ Hz). (★ બોર્ડ માટે સંબંધિત લાઇન)



આકૃતિ ૧૪.૧૯: (a) એક પૂર્ણ-તરંગ રેક્ટિફાયર પરિપથ; (b) ઇનપુટ વેવ ફોર્મ્સ... (c) આઉટપુટ વેવફોર્મ...

ફિલ્ટર પરિપથો (Filter Circuits)

- રેક્ટિફાયરમાંથી મળતો આઉટપુટ **સ્પંદનીય (pulsating) dc** હોય છે (તે એકદિશ હોય છે પરંતુ સ્થિર નથી).
- સરળ, સ્થિર dc મેળવવા માટે, **ફિલ્ટર પરિપથ** વપરાય છે.
- સૌથી સરળ ફિલ્ટર એ લોડ અવરોધ R_L ની સમાંતરે જોડાયેલ મોટું **કેપેસિટર** છે.
- **કાર્યપદ્ધતિ:** કેપેસિટર રેક્ટિફાઇડ પલ્સના પીક વોલ્ટેજ સુધી ચાર્જ થાય છે. જ્યારે પલ્સ વોલ્ટેજ ઘટે છે, ત્યારે કેપેસિટર ધીમે ધીમે R_L દ્વારા ડિસ્ચાર્જ થાય છે, વોલ્ટેજને ઊંચો જાળવી રાખે છે.
- આ પ્રક્રિયા "રિપલ્સ (ripples)" ને સરળ બનાવે છે અને ઘણો સ્થિર dc વોલ્ટેજ ઉત્પન્ન કરે છે.



આકૃતિ ૧૪.૨૦: (a) કેપેસિટર ફિલ્ટર સાથે પૂર્ણ-તરંગ રેક્ટિફાયર. (b) ઇનપુટ અને આઉટપુટ વેવફોર્મ્સ.

MCQs (રેક્ટિફાયર અને ફિલ્ટર)

1. **રેક્ટિફાયરમાં RC ફિલ્ટર પરિપથ રાખવાનો હેતુ ___.**

   (A) AC રીપલને ફિલ્ટર કરીને ચોખ્ખો (pure) DC મેળવવા માટે.

   (B) AC ને DC માં રૂપાંતરિત કરવા.

   (C) આઉટપુટ વોલ્ટેજની આવૃત્તિ વધારવા માટે.

   (D) આઉટપુટ વોલ્ટેજને વિવર્ધિત (Amplify) કરવા.

   (June 2025)

2. **પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફિકેશનમાં, જો ઇનપુટ આવૃત્તિ 60 Hz હોય તો આઉટપુટ આવૃત્તિ ___.**

   (A) 30 Hz (B) 60 Hz (C) 120 Hz (D) 90 Hz

   (July 2025) (NCERT Exercise 14.6)

લખિત PYQs (રેક્ટિફાયર)

૩-ગુણના પ્રશ્નો

- **રેક્ટિફિકેશન એટલે શું? અર્ધ તરંગ રેક્ટિફાયરનો વિદ્યુત પરિપથ દોરી તેનું કાર્ય સમજાવો અને તેના ઇનપુટ અને આઉટપુટ વોલ્ટેજના તરંગ સ્વરૂપો દર્શાવો.**

  (March 2017) (May 2021) (March 2023) (June 2025) (Feb-March 2025)

- **પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફાયરનો સ્વચ્છ પરિપથ દોરો અને તેની કાર્યપદ્ધતિ ટૂંકમાં સમજાવો. ઇનપુટ અને આઉટપુટ વોલ્ટેજ માટે તરંગ સ્વરૂપ દોરો.**

  (March/April 2022) (June 2024)

૪-ગુણના પ્રશ્નો

- **અર્ધતરંગ અને પૂર્ણતરંગ રેક્ટિફાયરનો વિદ્યુત પરિપથ દોરો અને તેનું કાર્ય સમજાવો.**

  (March 2018)

- **પૂર્ણ તરંગ રેક્ટિફાયરનો વિદ્યુત પરિપથ દોરો અને તેનું કાર્ય સમજાવો (તરંગ સ્વરૂપો દર્શાવો).**

  (March 2019) (March 2024)