# 3

# ഖരപദാർഥങ്ങളുടെ അടിസ്ഥാനതത്ത്വങ്ങൾ

ആമുഖം

3.1 ഊർജനിലച്ചിത്രം

3.2 ഖരപദാർഥങ്ങളിലെ എനർജി ബാൻഡ് (ഊർജഘടന)

3.3 ഖരപദാർഥങ്ങളുടെ തരംതിരിക്കൽ

3.4 അർധചാലകങ്ങളിലെ ബോണ്ടുകൾ

3.5 സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന സെമികണ്ടക്ടറുകൾ

3.6 വിവിധതരത്തിലുള്ള ചാലകങ്ങൾ

3.7 ശുദ്ധമായ സെമികണ്ടക്ടറുകൾ (Intrinsic semiconductor)

3.8 അശുദ്ധമായ സെമികണ്ടക്ടറുകൾ (Extrinsic Semiconductor)

3.9 N - ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടർ

3.10 P- ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടറുകൾ

3.11 അർധചാലകങ്ങളിലെ ചാർജ് വാഹകരുടെ സഞ്ചാരം

A3D9Y9

## ആമുഖം

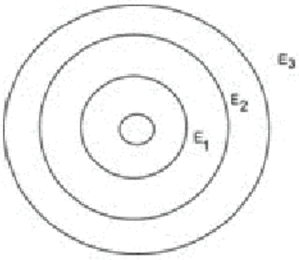
ഡയോഡ്, ട്രാൻസിസ്റ്റർ, IC കൾ എന്നീ സോളിഡ് സ്റ്റേറ്റ് ഇലക്ട്രോണിക് കംപോണന്റുകളുടെ അടിസ്ഥാനപരമായ പദാർഥങ്ങൾ എന്നത് അർധചാലകങ്ങളാണ്. പത്തൊൻപതാം നൂറ്റാണ്ടിന്റെ ആദ്യപാദത്തിൽ തന്നെ അർധചാലക ഉപകരണങ്ങളെക്കുറിച്ചുള്ള ഗവേഷണങ്ങൾ ആരംഭിച്ചിരുന്നു. ഏറ്റവും കൂടുതലായി ഉപയോഗിക്കുന്ന അർധചാലകങ്ങളാണ് സിലിക്കണും (Si) ജെർമേനിയവും (Ge). ഗാലിയം, ആർസെനിക്ക് എന്നീ മൂലകങ്ങൾ സംയോജിപ്പിച്ചുകൊണ്ടുള്ള സംയുക്തങ്ങളായ ഗാലിയം ആർസനൈഡ് (GAS), ഗാലിയം ഫോസ്ഫൈഡ് എന്നിവയും അർധചാലകങ്ങളായ സംയുക്തങ്ങളായി ഉപയോഗിക്കുന്നുണ്ട്. ഇങ്ങനെയുള്ള, സംയുക്ത അർധചാലകങ്ങൾക്ക് പ്രത്യേകമായ ഇലക്ട്രിക്കൽ അല്ലെങ്കിൽ ഒപ്റ്റിക്കൽ പ്രത്യേകതകളുണ്ട്.

1950 കളിൽ ഏറ്റവും സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്ന അർധചാലകം ജെർമേനിയമായിരുന്നു. ഇത് കൂടിയ താപനിലയിലുള്ള ഉപയോഗങ്ങൾക്ക് അനുയോജ്യമായിരുന്നില്ല. പിൽക്കാലത്ത് സിലിക്കൺ ജെർമേനിയത്തേക്കാളും കൂടുതൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന അർധചാലകമായി മാറി. സിലിക്കന്റെ താപസ്ഥിരതയും കുറഞ്ഞ ചെലവും ശക്തമായ ക്രിസ്റ്റൽ ഘടനയും അതിന്റെ ലഭ്യതയുമാണ് ഇതിനു കാരണം.

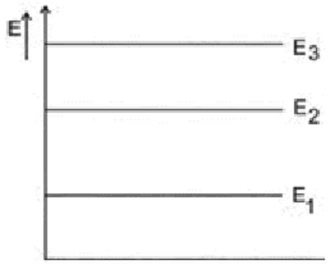
### 3.1 ഊർജനില ചിത്രം (Energy level diagram)

ബോർ ആറ്റം മോഡൽ അനുസരിച്ച് ഓരോ ഓർബിറ്റിനും നിശ്ചിത ഊർജഘടനയാണുള്ളത്. ഒരു ഇലക്ട്രോൺ ഏതൊക്കെ ഓർബിറ്റിലേക്കു നീക്കുന്നുവോ, ആ ഓർബിറ്റൽ നിലനിൽക്കാൻ വേണ്ട കൂടിയ ഊർജം അതിന് ആവശ്യമുണ്ട് (ചിത്രം 3.1). ഊർജ ഘടന കൂടിയ ഓർബിറ്റാണെങ്കിൽ ആ ഇലക്ട്രോണിന് കൂടുതൽ ഊർജം ഉണ്ടായിരിക്കും. ആറ്റത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസിന് അടുത്തുള്ള ഓർബിറ്റിനേക്കാൾ കൂടുതൽ അകലെയുള്ള ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണായിരിക്കും കൂടുതൽ ഊർജം എന്നതാണ് ഇതു സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. ഒരു ആറ്റത്തിലെ പല ഓർബിറ്റുകളിലുമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജത്തെ ഓരോ സമാന്തര രേഖകൾകൊണ്ട് സൂചിപ്പിക്കുന്നു. ഇങ്ങനെ വരയ്ക്കുന്ന ചിത്രത്തെ എനർജി ലെവൽ ഡയഗ്രം എന്നു പറയുന്നു. ചിത്രം 3.2 കാണിക്കുന്നത്. ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ ഊർജനില ച്ചിത്രമാണ്. $E_1$ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് ആദ്യത്തെ ഓർബിറ്റിന്റെ ഊർജവും $E_2$ സൂചിപ്പിക്കുന്നത് രണ്ടാ

മത്തെ ഓർബിറ്റിന്റെ ഊർജവും $E_3$സൂചിപ്പിക്കുന്നത്. മൂന്നാമത്തെ ഓർബിറ്റിന്റെ ഊർജവും ആണ്.




ചിത്രം : 3.1 ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ ഘടന



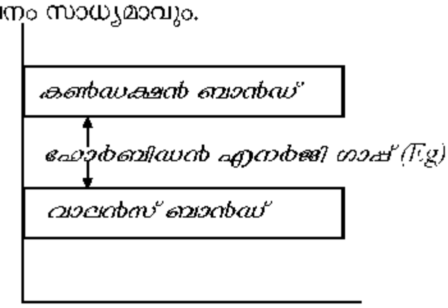

ചിത്രം : 3.2 ഊർജനില ചിത്രം

1913-ൽ നീൽസ്ബോർ എന്ന ശാസ്ത്രജ്ഞൻ ആറ്റത്തിന്റെ ഘടനയെക്കുറിച്ച് വിശദീകരിച്ചു. അദ്ദേഹത്തിന്റെ വിശദീകരണമനുസരിച്ച് ഒരു ആറ്റത്തിൽ പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ന്യൂക്ലിയസും അതിനുചുറ്റും ഒരു നിശ്ചിത ഓർബിറ്റിൽ കറങ്ങിക്കൊണ്ടിരിക്കുന്ന നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുമുണ്ട്. ഒരു ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം സ്ഥിരമാണ്. അതുകൊണ്ട് ഒരു ആറ്റത്തിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജവും സ്ഥിരമാണ്.

Niels Bohr
(1885-1962)

## 3.2 ഖരപദാർഥങ്ങളിലെ എനർജി ബാൻഡ് (ഊർജഘടന)

ഒരു ഒറ്റപ്പെട്ടുനിൽക്കുന്ന ആറ്റത്തിന്റെ ഊർജഘടന നമ്മൾ പരിശോധിക്കണം. സാധാരണ മർദ്ദത്തിലും താപനിലയിലും വാതകങ്ങളുടെ ആറ്റങ്ങൾ ഒറ്റപ്പെട്ടുനിൽക്കുന്നതായി കണക്കാക്കാം. അതിന്റെ ആറ്റങ്ങൾ തമ്മിലുള്ള ആകലം കൂടുതലാണ്. അതുകൊണ്ട് ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ ഊർജനില ചുറ്റുമുള്ള മറ്റ് ആറ്റങ്ങളെ ബാധിക്കുന്നില്ല. എന്നാൽ ഖരപദാർഥങ്ങളിലെ ആറ്റങ്ങൾ കൂടുതൽ അടുത്തായതിനാൽ ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ ഊർജനില അടുത്തുള്ള ആറ്റങ്ങളിൽ വ്യത്യാസം വരുത്താം. ചില അവസരങ്ങളിൽ ഏറ്റവും പുറമെയുള്ള ഓർബിറ്റിലിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ ചിലപ്പോൾ വളരെ അടുത്തുവരുകയോ തമ്മിൽ ലയിക്കുകയോ ചെയ്യാം ഇങ്ങനെയുള്ള അവസരങ്ങളിൽ അവയുടെ ഊർജനില വിഭജിച്ചുപോകാൻ സാധ്യതയുണ്ട്. അങ്ങനെയുള്ള ഊർജഘടകങ്ങൾ ഒന്നിച്ചുകാണപ്പെടാതെ വിഭജിച്ചുകാണപ്പെടുകയും എന്നാൽ വളരെ അടുത്ത് തുടരെത്തുടരെയുള്ള ഊർജമായും കാണപ്പെടുന്നു. ഇതിനെയാണ് ഊർജഘടന (എനർജി ബാൻഡ്) എന്ന് വിളിക്കുന്നത്. അവസാന ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾ ആണ് ആ ആറ്റത്തിലെ വാലൻസി തീരുമാനിക്കുന്നത്. ഈ വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ഒരു സ്ഥലത്തു നിന്ന് മറ്റൊരു സ്ഥലത്തേക്കു സ്വതന്ത്രമായി ചലിക്കാൻ സാധിക്കില്ല. എന്നാൽ അതിന് ആവശ്യമുള്ള ഊർജം കിട്ടുകയാണെങ്കിൽ ആ ഇലക്ട്രോൺ കൂടിയ ഊർജനിലയിലേക്കു പോവുകയും സ്വതന്ത്രമായി ചലിക്കാൻ സാധിക്കുകയും ചെയ്യും. ഇതിന്റെ ഫലമായി വൈദ്യുത ചാലനം സാധ്യമാവും.




ചിത്രം 3.3
ഊർജഘടനയുടെ ചിത്രം

## വാലൻസ് ബാൻഡ്

ഒരു ആറ്റത്തിലെ ഏറ്റവും പുറമെയുള്ള ഓർബിറ്റലിലെ ഇലക്ട്രോണുകളാണ് വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകൾ. ഈ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജഘടനയെയാണ് വാലൻസ് ബാൻഡ് എന്ന് പറയുന്നത്. വാലൻസ് ബാൻഡ് ചിലപ്പോൾ പൂർണമായോ ഭാഗികമായോ നിറഞ്ഞിരിക്കും. എന്നാൽ ഒരിക്കലും ഇലക്ട്രോൺ ഇല്ലാതെ വരുകയില്ല. ഈ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ആകെയുള്ള ഊർജ മേഖലയാണ് വാലൻസ് ബാൻഡ് എന്നറിയപ്പെടുന്നത്.

## കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡ്

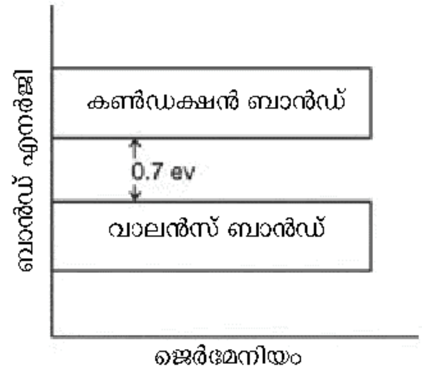
വാലൻസ് ബാൻഡിൽനിന്നു കൂടുതൽ ഊർജം സ്വീകരിച്ച് പുറത്തുപോകുന്ന ഇലക്ട്രോണുകളെയാണ് കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡ് ഇലക്ട്രോൺസ് എന്നു വിളിക്കുന്നത്. ഈ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ആകെയുള്ള ഊർജമേഖലയെയാണ് കണ്ഡക്ഷൻ ബാൻഡ്. ഇത് വാലൻസ് ബാൻഡിന്റെ തൊട്ടടുത്തായി സ്ഥിതിചെയ്യുന്നു. ഇത് ചിലപ്പോൾ ഇലക്ട്രോൺ ഇല്ലാത്ത അവസ്ഥയിലോ ചിലപ്പോൾ ഭാഗികമായി നിറഞ്ഞ അവസ്ഥയിലോ ആയിരിക്കാം. കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിലെ ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് സ്വതന്ത്രമായി ചലിക്കുന്നതിനും, ഖരപദാർഥങ്ങളിൽ വൈദ്യുതി കടത്തിവിടാനും സാധിക്കും. ഈ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജമേഖലപരിധിയാണ് കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡ് എന്നറിയപ്പെടുന്നത്.

ഒരു പദാർഥത്തിന്റെ കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിൽ ഇലക്ട്രോൺ ഒന്നും ഇല്ലെങ്കിൽ ആ പദാർഥത്തിന് കറന്റ് കടത്തിവിടാൻ സാധിക്കില്ല. പൊതുവായി ഇൻസുലേറ്റേഴ്സിന്റെ കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിൽ ഇലക്ട്രോൺസ് ഉണ്ടായിരിക്കില്ല. എന്നാൽ ചാലകങ്ങളുടെ കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡ് ഭാഗികമായി നിറഞ്ഞതായിരിക്കും.

## ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ്

ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് വാലൻസ് ബാൻഡിനും കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിനുമിടയിലുള്ള ഒരു ഊർജനില സ്വീകരിക്കാൻ സാധിക്കില്ല. എനർജി ബാൻഡ് ഡയഗ്രത്തിൽ വാലൻസ് ബാൻഡും കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡും തമ്മിലുള്ള വ്യത്യാസയാണ് ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ് അല്ലെങ്കിൽ ബാൻഡ് ഗാപ്പ് (Eg) എന്ന് പറയുന്നത്

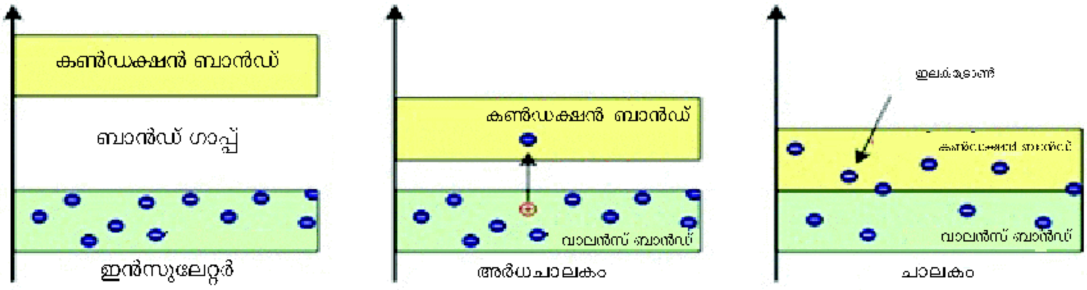
എനർജി ഗാപ്പിന്റെ വിഡ്ത് എന്നത് ആറ്റത്തിന്റെ ന്യൂക്ലിയസും വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണും തമ്മിലുള്ള ആകർഷക ഊർജത്തെ ആശ്രയിച്ചിരിക്കും. എനർജി ഗാപ്പ് കൂടുതലാണെങ്കിൽ ന്യൂക്ലിയസും വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണും തമ്മിലുള്ള ആകർഷക ഊർജം കൂടുതലായിരിക്കും. ആറ്റത്തിലെ വാലൻസ് ഇലക്ട്രോൺ കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിലേക്കു കൊണ്ടുപോകണമെങ്കിൽ ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പിന് തുല്യമായ ഊർജം പുറമേ നിന്നു കൊടുക്കേണ്ടതാണ്.




ചിത്രം 3.4 ജെർമേനിയത്തിന്റെ ഊർജഘടനാ ചിത്രം

## 3.3 ഖരപദാർഥങ്ങളുടെ തരംതിരിക്കൽ

ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പിനെ ആസ്പദമാക്കി ഖരപദാർഥങ്ങളുടെ കറന്റ് കടത്തിവിടാനുള്ള കഴിവിനെ നമുക്കു വിശദീകരിക്കാം. വ്യത്യസ്ത ഖരപദാർഥങ്ങളുടെ എനർജി ബാൻഡ് ഡയഗ്രം ചിത്രം 3.5 –ൽ ഖരപദാർഥങ്ങളെ മൂന്നായി തരംതിരിക്കാം.




ചിത്രം – 3.5 ഖരപദാർഥങ്ങളുടെ എനർജി ബാൻഡ് ഡയഗ്രം

### ഇൻസുലേറ്ററുകൾ

ഉദാഹരണം : തടി, ഗ്ലാസ് തുടങ്ങിയവ.

ചിത്രം 3.5 ലേതുപോലെ ഇൻസുലേറ്ററുകൾക്ക് (ഉദാഹരണം : ഉണങ്ങിയ തടി, ഗ്ലാസ്) ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ് കൂടുതലാണ്. സാധാരണ ഊഷ്മാവിൽ വാലൻസ് ബാൻഡിൽ മാത്രമേ ഇലക്ട്രോണുകൾ കാണപ്പെടുന്നുള്ളൂ. ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ് വളരെ കൂടുതലായതിനാൽ കണ്ടക്ഷൻ ബാൻഡിലേക്ക് ഇലക്ട്രോണുകൾ പോകുന്നില്ല. അതിനാൽ ഇൻസുലേറ്ററിൽ കണ്ടക്ഷൻ നടക്കുന്നില്ല.

### കണ്ടക്ടറുകൾ

ഉദാഹരണം: ചെമ്പ്, അലുമിനിയം

കണ്ടക്ടറിന്റെ വാലൻസ് ബാൻഡും കണ്ടക്ഷൻ ബാൻഡും ഒരുമിച്ചു കൂടിച്ചേർന്ന അവസ്ഥയിലാണ്. അതിനാൽ കണ്ടക്ഷൻ ബാൻഡിൽ ധാരാളം ഇലക്ട്രോണുകൾ കാണപ്പെടുന്നു. അതായത് ചാലകങ്ങൾ ബാൻഡ് ഗാപ്പ് എനർജി ഇല്ലാത്ത അവസ്ഥയിലാണ്. അതിനാൽ വളരെ ചെറിയ ഒരു വോൾട്ടേജ് കൊടുത്താൽ ഫ്രീ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചലനം സാധ്യമാവുകയും തത്ഫലമായി ഇലക്ട്രിക് കറന്റ് ഉണ്ടാവുകയും ചെയ്യുന്നു.

### അർധചാലകങ്ങൾ സെമികണ്ടക്ടറുകൾ

ഒരു അർധചാലകത്തിന്റെ വൈദ്യുതസ്വഭാവം ഇൻസുലേറ്ററിനും ചാലകത്തിനും ഇടയിലാണ്.

ഉദാഹരണം : സിലിക്കൺ, ജെർമേനിയം എന്നിവ.

സാധാരണ താപനിലയിൽ സെമി കണ്ടക്ടറുകൾക്ക് വളരെ ചെറിയ ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പാണുള്ളത്. അബ്സല്യൂട്ട് (കേവല) താപനിലയിൽ ($0^0$K) ഒരു സെമികണ്ടക്ടറിന്റെ കണ്ടക്ഷൻ ബാൻഡിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഒന്നും തന്നെ കാണപ്പെടുന്നില്ല. എന്നാൽ വാലൻസ് ബാൻഡ് പരിപൂർണമായി നിറഞ്ഞിരിക്കും. അതിനാൽ അത് ഒരു ഇൻസുലേറ്റർ പോലെ പ്രവർത്തിക്കുന്നു. പക്ഷേ, താപനില കൂടുമ്പോൾ താപോർജം സ്വീകരിച്ച് ചില ഇലക്ട്രോണുകൾ സ്വതന്ത്രമാവുകയും അവ കണ്ടക്ഷൻ ബാൻഡിൽ എത്തിച്ചേരുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇവയുടെ ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ് തീരെ ചെറുതാണ് എന്നതാണിതിനു കാരണം.

### പ്രവർത്തനം 1

താഴെ കൊടുത്തിരിക്കുന്ന പദങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ചേരുംപടി ചേർക്കുന്ന ഒരു പട്ടിക ഉണ്ടാക്കുക.

റബ്ബർ, വളരെ ചെറിയ എനർജി ഗാപ്പ് (<3ev), കണ്ടക്ടർ, വളരെ കൂടിയ എനർജി ഗാപ്പ് (<3ev), വാലൻസ് ബാൻഡും കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡും തമ്മിൽ ലയിച്ചിരിക്കുന്നു. കോപ്പർ, സിലിക്കൺ, ഇൻസുലേറ്റർ, സെമി കണ്ടക്ടർ, കറന്റ് തുടർച്ചയായി ഒഴുകുന്നു, കറന്റ് ഒഴുകുന്നില്ല, ഭാഗികമായ ചാലകത.

- പട്ടികയിൽനിന്നു നിങ്ങൾ പഠിച്ച പാഠഭാഗത്തെ ആസ്പദമായുള്ള കണ്ടെത്തലുകൾ രേഖപ്പെടുത്തുക.
- റബ്ബർ, കോപ്പർ, സിലിക്കൺ എന്നീ പദാർഥങ്ങളിൽ ഏതിനാണ് ഇലക്ട്രോണിനെ അതിന്റെ വാലൻസ് ബാൻഡിൽനിന്നു കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിലേക്കു നീക്കാൻ കൂടുതൽ എനർജി വേണ്ടിവരുന്നത്? എന്തുകൊണ്ട്?

  നിങ്ങൾ തയാറാക്കിയ പട്ടിക താഴെ കൊടുത്ത പട്ടികയുമായി ചേരുന്നുണ്ടോ എന്ന് ഒത്തുനോക്കുക.

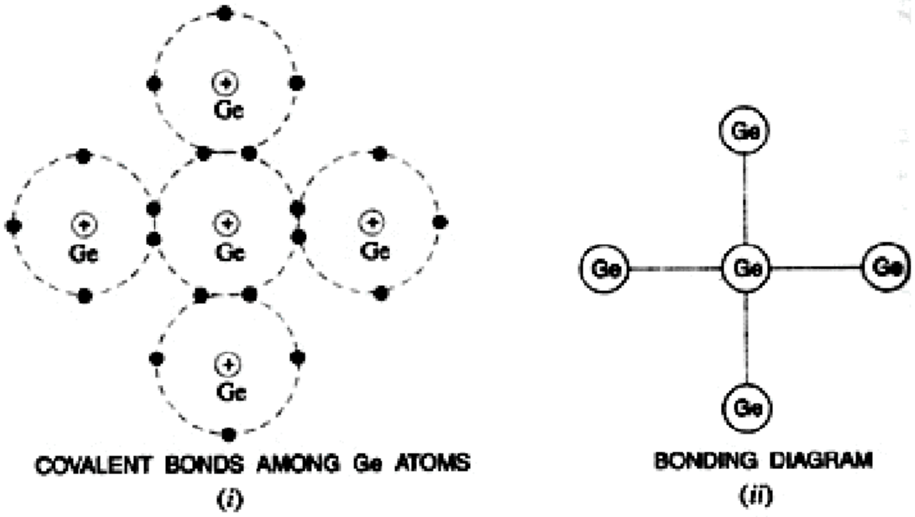
| കണ്ടക്ടർ | ഇൻസുലേറ്റർ | സെമികണ്ടക്ടർ |
|---|---|---|
| കോപ്പർ | റബ്ബർ | സിലിക്കൺ |
| വാലൻസ് ബാൻഡും കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡും ലയിച്ചിരിക്കുന്നു | വളരെ കൂടിയ എനർജി ഗാപ്പ് (> 3ev) | വളരെ ചെറിയ എനർജി ഗാപ്പ് (<3ev), |

### പഠനപുരോഗതി പരിശോധിക്കുക

എനർജി ബാൻഡ് ഡയഗ്രത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ ചാലകങ്ങൾ, അർധചാലകങ്ങൾ എന്നിവയെ വേർതിരിക്കുക.

## 3.4. അർധചാലകങ്ങളിലെ ബോണ്ടുകൾ

വാലൻസ് - ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ബോണ്ടിങ് എന്ന പ്രത്യേകത മൂലമാണ് പദാർഥങ്ങളുടെ ആറ്റങ്ങൾ ഒരുമിച്ചുചേർന്ന് ഒരു തന്മാത്ര ആയിരിക്കുന്നത്. എല്ലാ ആറ്റങ്ങളിലും ഏറ്റവും അവസാനത്തെ ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം 8 ആയിരിക്കുന്നതിനുള്ള ത്വരയാണ് ഈ ബോണ്ടിങ്ങിനു കാരണം. എന്നിരുന്നാലും പ്രകൃതിയിലെ മിക്കവാറും തന്മാത്രകളിലെയും ഏറ്റവും പുറമെയുള്ള ഓർബിറ്റിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം അപൂർണമാണ്. എന്നാൽ ഇത് പൂർണമാക്കുന്നതിനു വേണ്ടി ആറ്റങ്ങൾ മറ്റ് ആറ്റങ്ങളുമായി ഇലക്ട്രോണുകൾ വിട്ടുകൊടുക്കുകയോ സ്വീകരിക്കുകയോ പങ്കിടുകയോ ചെയ്യാറുണ്ട്. ഒരു സെമി കണ്ടക്ടറിൽ ഇങ്ങനെ ആറ്റങ്ങൾ ഇലക്ട്രോണുകളെ പങ്കിട്ടാണ് ബോണ്ടിങ് ഉണ്ടാക്കുന്നത്. ഇങ്ങനെയുള്ള ബോണ്ടിങ്ങിനെ സഹസംയോജകബന്ധനം (കോവാലന്റ് ബോണ്ട്) എന്നു പറയുന്നു. ഇതിൽ ഓരോ ആറ്റവും തുല്യ അളവിലുള്ള വാലൻസ് ബാൻഡ് ഇലക്ട്രോണുകൾ പങ്കിടുന്നു.




ചിത്രം - 3.6 ജെർമേനിയം ബോണ്ടിന്റെ ഘടന

ചിത്രം 3.6ൽ ജെർമേനിയം ആറ്റത്തിലെ സഹസംയോജകബന്ധനം കാണിച്ചിരിക്കുന്നു. ഒരു ജെർമേനിയം ആറ്റത്തിൽ 4 വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകളാണുള്ളത്. ഒരു ജെർമേനിയം ആറ്റത്തിന് അതിന്റെ അവസാനത്തെ ഓർബിറ്റിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ടാക്കാനുള്ള ത്വരയുണ്ട്. ചിത്രത്തിൽ നടുവിലത്തെ ആറ്റത്തിന്റെ ഓരോ ഇലക്ട്രോണിനു ചുറ്റുമുള്ള നാല് ആറ്റങ്ങളും ഷെയർ ചെയ്യുന്നു. അതുപോലെത്തന്നെ നടുവിലത്തെ ആറ്റം ചുറ്റുമുള്ള ആറ്റത്തിന്റെ ഓരോ ഇലക്ട്രോണിനെയും കൂടി ഷെയർ ചെയ്യുന്നു. അങ്ങനെ നടുവിലത്തെ ആറ്റത്തിന്റെ വാലൻസ് ബാൻഡിൽ ആകെ എട്ട് ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ടാകുന്നു.

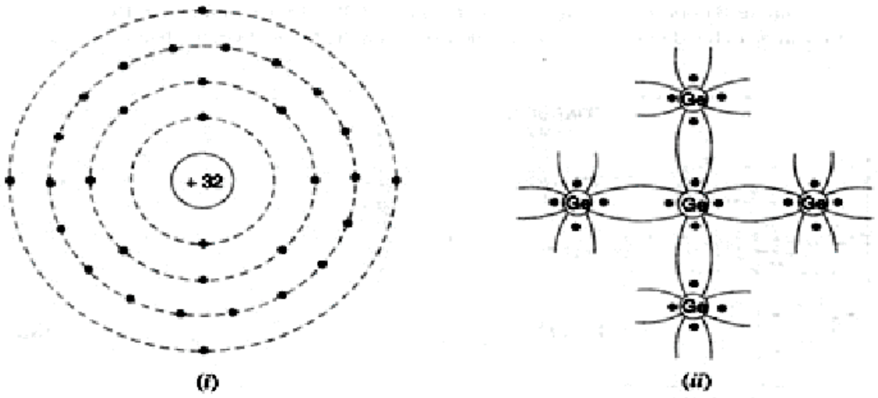
## 3.5 സാധാരണ ഉപയോഗിക്കുന്ന അർധചാലകങ്ങൾ

ധാരാളം സെമി കണ്ടക്ടറുകൾ പ്രകൃതിയിൽ ലഭ്യമാണെങ്കിലും അവയിൽ ചിലതു മാത്രമേ പ്രാവർത്തികമായി ഇലക്ട്രോണിക്സിൽ ഉപയോഗിക്കുന്നുള്ളൂ. സാധാരണ ജെർമേനിയവും സിലിക്കണുമാണ് ഇലക്ട്രോണിക്സിൽ ഉപയോഗിക്കുന്ന രണ്ടു സെമി കണ്ടക്ടറുകൾ. ഇവ രണ്ടിലും സഹസംയോജകബന്ധനം തകർക്കാൻ വളരെ കുറച്ച് ഊർജമേ ആവശ്യമുള്ളൂ (ഇലക്ട്രോൺ റിലീസ് ചെയ്യുന്നതിനുവേണ്ട ഊർജം) ജെർമേനിയത്തിന് ഇത് 0.7 eV ഉം സിലിക്കണിന് 1.1 eV ഉം ആണ്.

### (i) ജെർമേനിയം

കൽക്കരിയുടെ ചാരത്തിൽനിന്നാണ് ജെർമേനിയം വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നത്. ഇങ്ങനെ വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നത് സാധാരണ ജെർമേനിയം ഡയോക്സൈഡ് പൗഡറായാണ് കാണപ്പെടുന്നത്. ഇതിൽനിന്നു കെമിക്കൽ റിഡക്ഷൻ എന്ന പ്രക്രിയയിലൂടെയാണ് ജെർമേനിയം വേർതിരിക്കുന്നത്.

ജെർമേനിയത്തിന്റെ അറ്റോമിക നമ്പർ 32 ആണ്. അതിനാൽ ഇതിന് 32 പ്രോട്ടോണുകളും 32 ഇലക്ട്രോണുകളുമുണ്ട്. ആദ്യത്തെ ഓർബിറ്റിൽ 2 ഇലക്ട്രോണും രണ്ടാമത്തെ ഓർബിറ്റിൽ 8 ഇലക്ട്രോണും മൂന്നാമത്തെ ഓർബിറ്റിൽ 18 ഇലക്ട്രോണും നാലാമത്തെ അല്ലെങ്കിൽ വാലൻസ് ഓർബിറ്റിൽ 4 ഇലക്ട്രോണുമുണ്ട്. അതിനാൽ ഇത് ഒരു ടെട്രാവാലന്റ് (വാലൻസ് ഓർബിറ്റിൽ 4 ഇലക്ട്രോണുകളുള്ള) മൂലകമാണ്.

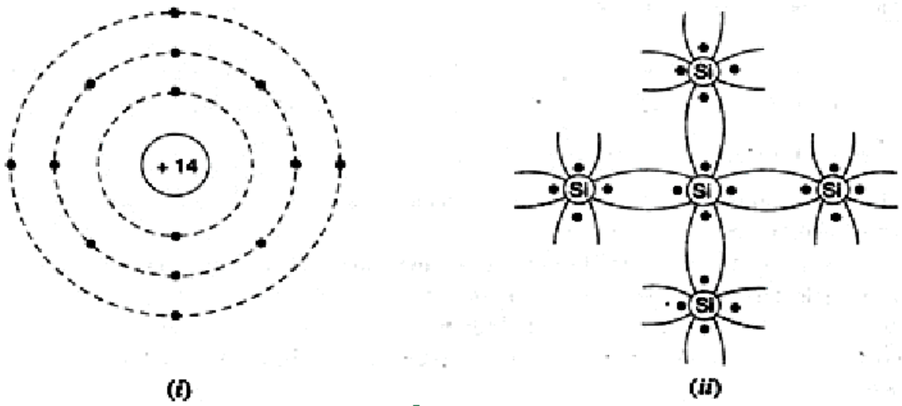



ചിത്രം 3.7 ജെർമേനിയത്തിന്റെ ആറ്റോമികഘടനയും ബോണ്ടിങ്ങും

**(ii) സിലിക്കൺ**

സിലിക്കൺ മൂലകം സാധാരണ പ്രകൃതിയിൽ മണലിന്റെ (Sand) രൂപത്തിലാണ് കാണപ്പെടുന്നത്(സിലിക്കൺ ഡയോക്സൈഡ്). കെമിക്കൽ റിഡക്ഷൻ എന്ന പ്രവർത്തനത്തിലൂടെ സിലിക്കൺ ഡയോക്സൈഡിൽ നിന്നാണ് ഇത് വേർതിരിച്ചെടുക്കുന്നത്.

സിലിക്കണിന്റെ അറ്റോമിക് നമ്പർ 14 ആണ്. ആദ്യത്തെ ഓർബിറ്റലിൽ 2 ഇലക്ട്രോണും രണ്ടാമത്തെ ഓർബിറ്റലിൽ 8 ഇലക്ട്രോണും, വാലൻസ് ഓർബിറ്റലായ മൂന്നാമത്തേതിൽ 4 ഇലക്ട്രോണുകളുമാണ് ഇതിനുള്ളത്. സിലിക്കന്റെ വാലൻസ് ഓർബിറ്റലിൽ 4 ഇലക്ട്രോണുകളുള്ളതിനാൽ ഇത് ഒരു ടെട്രാവാലന്റ് മൂലകമാണ്. സിലിക്കൺ ആറ്റത്തിന്റെ സഹസംയോജകബന്ധനങ്ങൾ താഴെ കൊടുത്ത ചിത്രത്തിൽ കാണിച്ചിരിക്കുന്നു.




ചിത്രം 3.8
സിലിക്കണിന്റെ ആറ്റോമികഘടനയും ബോണ്ടിങ്ങും

## 3.6 വിവിധ തരത്തിലുള്ള ചാലകങ്ങൾ

സെമികണ്ടക്ടറുകളെ താഴെ പറയുന്നതുപോലെ തരംതിരിക്കാം

സെമി കണ്ടക്ടറുകൾ

ഇൻട്രിൻസിക് (ശുദ്ധമായ) സെമികണ്ടക്ടറുകൾ

എക്സ്ട്രിൻസിക് അഥവാ അശുദ്ധമായ സെമികണ്ടക്ടറുകൾ

## 3.7 ശുദ്ധമായ സെമി കണ്ടക്ടർ (Intrinsic semiconductor)

സെമി കണ്ടക്ടറുകളുടെ ഏറ്റവും ശുദ്ധമായ അവസ്ഥയാണ് ഇൻട്രിൻസിക് സെമി കണ്ടക്ടറുകൾ എന്നുവിളിക്കുന്നത്. ഇതിന്റെ കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിൽ $0^0$K താപനിലയിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഒന്നുംതന്നെ കാണപ്പെടാത്തതിനാൽ ഇത് ഒരു ഇൻസുലേറ്റർ ആയി പ്രവർത്തിക്കുന്നു. എന്നാൽ സാധാരണ താപനിലയിൽ ചില ഇലക്ട്രോണുകൾ കോവാലന്റ് ബോണ്ട് തകർത്ത് കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിൽ എത്തിച്ചേരുകയും ഇവയ്ക്ക് സുഗമമായി ചലിക്കാൻ സാധിക്കുകയും ഇലക്ട്രോണുകൾ ചാർജ് വാഹകരായി പ്രവർത്തിക്കുകയും ചെയ്യുന്നു. ഇങ്ങനെ കോവാലന്റ് ബോണ്ട് തകർക്കുമ്പോൾ ഇലക്ട്രോണിന്റെ ഒഴിവ് ഇതിന്റെ വാലൻസ്ബാൻഡിൽ ഉണ്ടാകുന്നു. ആ ഒഴിവിന് ഹോൾ എന്നറിയപ്പെടുന്നു. ഈ ഹോൾ ചിലപ്പോൾ വാലൻസ് ബാൻഡിലെ മറ്റ് ഇലക്ട്രോണുകളാൽ നിറയപ്പെടാം. ആയതിനാൽ ഇത് വാലൻസ് ബാൻഡിലെ ഹോളുകളുടെ ചലനത്തിനു കാരണമായിത്തീരുന്നു. ഈ ഹോളുകൾ പോസിറ്റീവ് ചാർജ് വാഹകരായി കാണപ്പെടുന്നു.

ഒരു ശുദ്ധ സെമി കണ്ടക്ടറിൽ വാലൻസ് ബാൻഡിലെ ഹോളുകളുടെ എണ്ണം അതിന്റെ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തിന് തുല്യമായിരിക്കും. ഹോളുകൾ വാലൻസ് ബാൻഡിലും ഇലക്ട്രോണുകൾ കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിലുമാണ് നിലനിൽക്കുന്നത്.

### സെമി കണ്ടക്ടറിലെ ഹോളുകളുടെ ചലനം

വാലൻസ് ബാൻഡിലെ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന് ആവശ്യമായ ഊർജം ലഭിച്ചാൽ ഇത് ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ് ചാടിക്കടന്ന് കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിൽ എത്തിച്ചേരും. ഇങ്ങനെ ഒരു കോവാലന്റ് ബോണ്ടിലെ രണ്ട് ഇലക്ട്രോണിൽ ഒരെണ്ണം കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിൽ എത്തിച്ചേർന്നാൽ ആ ഇലക്ട്രോൺ വിട്ടുപോയ സ്ഥലത്ത് ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ കുറവ് ആ വാലൻഡ് ബാൻഡിൽ ഉണ്ടാവും. ഇതിനെ നമുക്ക് ഹോൾ A എന്നു വിളിക്കാം. ചില പ്രത്യേക സാഹചര്യങ്ങളിൽ വാലൻസ് ബാൻഡിലേക്കു തന്നെ മറ്റൊരു ഇലക്ട്രോൺ മറ്റൊരു കോവാലന്റ് ബോണ്ടിൽ നിന്നും ആദ്യത്തെ വേക്കൻസിയായ ഹോൾ A യിലേക്ക് ചലിക്കാം. അങ്ങനെ Aഹോൾ നിറയപ്പെടുന്നു. എന്നിരുന്നാലും ഹോൾ Aനിറയപ്പെടാൻ ഉപയോഗിച്ച ഇലക്ട്രോൺ എവിടെ നിന്നാണോ വന്നത്, അവിടെ ഒരു പുതിയ ഒഴിവ് ഉണ്ടാകും. ആ ഒഴിവിനെ ഹോൾ B എന്നു വിളിക്കാം. ഇപ്പോൾ ഹോൾ Aനിറയപ്പെടും. പുതിയതായി ഹോൾ B ഉണ്ടാവുകയും ചെയ്തു. മറ്റൊരുതരത്തിൽ പറഞ്ഞാൽ ഹോൾ Aഎന്നത് പുതിയ സ്ഥലമായ ഹോൾ B യുടെ സ്ഥലത്തേക്ക് നീങ്ങുന്നു. ഇനി വേറൊരു ഇലക്ട്രോൺ വന്ന് ഹോൾ B യുടെ സ്ഥാനത്തിരിക്കുകയും B നിറയപ്പെടുകയും ചെയ്തു എന്നു കരുതുക. ആ ഇലക്ട്രോൺ വന്ന സ്ഥലത്ത് ഒരു ഒഴിവ് സ്വാഭാവികമായും ഉണ്ടാകുമല്ലോ. അതിനെ ഹോൾ C എന്നു വിളിക്കാം. ഇപ്പോൾ ഹോൾ A യും ഹോൾ B യും നിറയപ്പെട്ടതിനാൽ ഹോൾ A യും ഹോൾ B യും ഇല്ല. എന്നാൽ ഇപ്പോൾ ഹോൾ C മാത്രമാണുള്ളത്. ചുരുക്കിപ്പറഞ്ഞാൽ, ഇത്രയും പ്രവർത്തനത്തിലൂടെ ഹോൾ Aയുടെ സ്ഥാനത്തു നിന്നു പോസിറ്റീവ് ചാർജുള്ള ഹോൾ Cയുടെ സ്ഥാനത്തേക്ക് ചലിച്ചു എന്നു പറയാം. ശരിക്കും ഹോൾ സ്വതന്ത്രമായി ചലിക്കുന്നില്ലെങ്കിലും ഫലത്തിൽ അത് A യിൽ നിന്നു C യിലേക്ക് മാറ്റപ്പെട്ടു. ഇങ്ങനെയാണ് ഒരു സെമി കണ്ടക്ടറിലെ ഹോളുകളുടെ ചലനം.

ഇത്രയും കാര്യങ്ങൾ ചുരുക്കത്തിലെഴുതിയാൽ

1. ഹോളുകൾ നിലനിൽക്കുന്നതും ചലിക്കുന്നതും വാലൻസ് ബാൻഡിലാണ്.
2. കൺഡക്ഷൻ ഇലക്ട്രോണുകൾ കാണപ്പെടുന്നതും ചലിപ്പിക്കുന്നതും കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിലാണ്.
3. ഹോൾ കറന്റ് വാലൻസ് ബാൻഡിലും കൺഡക്ഷൻ കറന്റ് കണ്ടക്ഷൻ ബാൻഡിലുമാണുള്ളത്.
4. കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡിലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ചലനം വാലൻസ് ബാൻഡിലുള്ള ഹോളുകളുടെ ചലനത്തേക്കാൾ ഇരട്ടി വേഗത്തിലാണ്.

## 3.8 അശുദ്ധമായ സെമികണ്ടക്ടറുകൾ (Extrinsic Semiconductor)

ശുദ്ധമായ സെമികണ്ടക്ടറുകൾ മോശം വൈദ്യുതിവാഹകരാണ്. കാരണം, അതിൽ ചാർജ് വാഹകരായ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ ആവശ്യത്തിന് കാണപ്പെടുന്നില്ല. അതിനാൽ കൂടുതൽ വൈദ്യുതി കടത്തിവിടുന്നതിനായി ആ പദാർഥഘടനയിൽ കൂടുതൽ ചാർജ് ആവശ്യമാണ്. ഒരു ശുദ്ധ സെമികണ്ടക്ടറിലേക്ക് അനുയോജ്യമായ പദാർഥങ്ങൾ (ഇംപ്യൂരിറ്റീസ്) കൂട്ടിച്ചേർത്താണ് ഇത് സാധ്യമാക്കുന്നത്. ഇങ്ങനെ അനുയോജ്യമായ പദാർഥങ്ങൾ കൂട്ടിച്ചേർത്ത സെമികണ്ടക്ടറിനെയാണ് അശുദ്ധമായ സെമികണ്ടക്ടറുകൾ എന്നുവിളിക്കുന്നത്. ഇങ്ങനെ അനുയോജ്യമായ പദാർഥങ്ങൾ ഒരു ശുദ്ധ സെമികണ്ടക്ടറിലേക്ക് കൂട്ടിച്ചേർക്കുന്ന പ്രവൃത്തിക്ക് പറയുന്ന പേരാണ് "ഡോപ്പിങ്'. ഇനി നമുക്ക് എങ്ങനെയാണ് ഇംപ്യൂരിറ്റി ചേർക്കുമ്പോൾ ഈ സ്വതന്ത്രചാർജ് പ്രവാഹകർ ഉണ്ടാകുന്നതെന്ന് ചർച്ചചെയ്യാം.

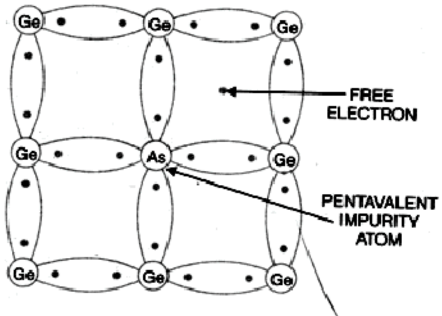
ഒരു സെമികണ്ടക്ടറിലെ ഹോളുകളുടെയോ ഇലക്ട്രോണുകളുടെയോ എണ്ണം കൂട്ടുന്നതിനാണ് അപദ്രവ്യങ്ങൾ (Impuritics) ഒരു സെമി കണ്ടക്ടറിൽ ചേർക്കുന്നത്. ഒരു പെന്റാവാലന്റ് (വാലൻസ് ബാൻഡിൽ 5 ഇലക്ട്രോണുകളുള്ള) പദാർഥമാണ് ഒരു ശുദ്ധ സെമി കണ്ടക്ടറിന്റെ കൂടെ കൂട്ടിച്ചേർക്കുന്നതെങ്കിൽ കൂടുതൽ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകളും ഒരു ട്രൈവാലന്റ് (വാലൻസ് ബാൻഡിൽ 3 ഇലക്ട്രോണുകളുള്ള) പദാർഥമാണ് എങ്കിൽ ആ ശുദ്ധ സെമി കണ്ടക്ടറിൽ കൂടുതൽ ഹോളുകളും ഉണ്ടാകുന്നു. ചേർക്കുന്ന പദാർഥത്തിന്റെ അടിസ്ഥാനത്തിൽ അശുദ്ധ സെമി കണ്ടക്ടറുകളെ രണ്ടായി തരംതിരിച്ചിരിക്കുന്നു.

(i) N - ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടർ

(ii) P -ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടർ

## 3.9 N -ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടർ

ഒരു ശുദ്ധമായ സെമി കണ്ടക്ടറിലേക്ക് ഏതെങ്കിലും പെന്റാവാലന്റ് മൂലകങ്ങൾ (ബിസ്മിത്ത്, ആന്റിമണി, ആർസെനിക്, ഫോസ്ഫറസ്) ചേർക്കുമ്പോഴാണ് ഒരു N ടൈപ്പ് സെമി ചാലകം ഉണ്ടാകുന്നത്. ചേർക്കപ്പെടുന്ന അപദ്രവ്യം (Impurity) മൂലകത്തിന്റെ വാലൻസ് ബാൻഡിലെ നാല് ഇലക്ട്രോണുകളും അർധചാലകത്തിലെ നാല് ഇലക്ട്രോണുകളും പങ്കിടുമ്പോൾ കോവാലന്റ് ബോണ്ട് ഉണ്ടാവുകയും അപദ്രവ്യം ആറ്റത്തിന്റെ അഞ്ചാമത്തെ ഇലക്ട്രോണിന് ആ പദാർഥത്തിലൂടെ സ്വതന്ത്രമായി സഞ്ചരിക്കാൻ സാധിക്കുന്നതുമാണ്. അങ്ങനെ ഓരോ പെന്റാവാലന്റ് ആറ്റം കൂട്ടിച്ചേർക്കുന്നതിലൂടെ ആ അർധചാലകത്തിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോൺ കൂടുതലായി ഉണ്ടാകുന്നു. ഏതു മൂലകമാണോ N-ടൈപ്പ് അർധചാലകം ഉണ്ടാക്കാൻ. കൂട്ടിച്ചേർത്തത്, ആ മൂലകം ദാതാവ് അപദ്രവ്യം (Donar Impurity) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. കാരണം ചേർക്കപ്പെടുന്ന മൂലകം അർധചാലകത്തിലേക്ക് ഒരു ഇലക്ട്രോണിനെ സംഭാവന ചെയ്യുന്നു.



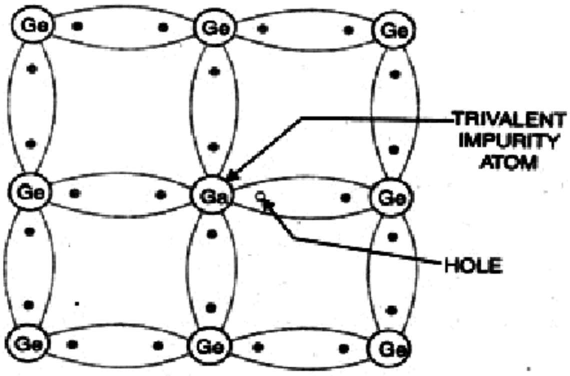

ചിത്രം 3.9 N ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറുകൾ

ഡോപ്പിങ് എന്ന പ്രക്രിയ വഴി N ടൈപ്പ് അർധചാലകത്തിൽ ധാരാളം സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ ഉണ്ടാകുന്നു. എന്നാൽ ഇതിലെ ഹോളുകളുടെ എണ്ണം വളരെ കുറവായിരിക്കും. അവ തെർമൽ അജിറ്റേഷൻ എന്ന പ്രക്രിയ വഴി ഉണ്ടാകുന്നതാണ്. ഒരു N ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടറിൽ ഹോളുക

ലുടെ എണ്ണവുമായി താരതമ്യം ചെയ്താൽ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം വളരെ കൂടുതലാണ്. അതിനാൽ വളരെ കൂടുതലായുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളെ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരെന്നും എണ്ണം വളരെ കുറവുള്ള ഹോളുകളെ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരെന്നും പറയുന്നു.

## 3.10 P - ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടറുകൾ

ഏതെങ്കിലും ട്രൈവാലന്റ് മൂലകങ്ങൾ (ബോറോൺ, ഗാലിയം, ഇൻഡിയം, അലുമിനിയം) ഒരു ശുദ്ധ അർധചാലകത്തിലേക്ക് കൂട്ടിച്ചേർക്കുമ്പോഴാണ് ഒരു P ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടർ ഉണ്ടാകുന്നത്. കൂട്ടിച്ചേർക്കപ്പെടുന്ന മൂലകത്തിലെ മൂന്ന് ഇലക്ട്രോണുകൾ ചുറ്റുമുള്ള നാല് സെമികണ്ടക്ടർ ആറ്റങ്ങളിലെ ഇലക്ട്രോണുകളുമായി പങ്കുവയ്ക്കൽ നടത്തിയാണ് കോവാലന്റ് ബോണ്ടുകൾ ഉണ്ടാകുന്നത്. എന്നാൽ നാലാമത്തെ ആറ്റത്തിൽ പങ്കുവയ്ക്കാൻ ചേർത്ത മൂലകത്തിലെ ആറ്റത്തിൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ഇല്ലാത്തതിനാൽ ആ ആറ്റത്തിൽ കോവാലന്റ് ബോണ്ട് ഉണ്ടാക്കുന്നതിന് ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ കുറവുണ്ടാകുന്നു. ഈ വേക്കൻസി അല്ലെങ്കിൽ കുറവ് ആണ് ഒരു ഹോളായി പരിഗണിക്കുന്നത്. അങ്ങനെ ഒരു ശുദ്ധ അർധചാലകത്തിൽ ഒരു ട്രൈവാലന്റ് അപദ്രവ്യം ചേർത്ത് ഒരു ഹോൾ ആ അർധചാലകത്തിൽ ഉണ്ടാക്കിയെടുക്കുന്നു. ഒരു P ടൈപ്പ് അർധചാലകത്തിൽ ഹോളുകൾ ഉണ്ടാക്കാൻ ചേർക്കുന്ന മൂലകങ്ങൾ സ്വീകർത്താവായ അപദ്രവ്യം (Accepter impurity) എന്നറിയപ്പെടുന്നു. കാരണം, കൂടുതലായി ഉണ്ടാകുന്ന ഹോളുകൾക്ക് ഇലക്ട്രോണുകളെ സ്വീകരിക്കാൻ സാധിക്കും.




ചിത്രം 3.10 P ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടർ

ഒരു P ടൈപ്പ് അർധചാലകത്തിൽ ഡോപ്പിങ് എന്ന പ്രക്രിയ വഴി വളരെ കൂടുതൽ സ്വതന്ത്രഹോളുകൾ സൃഷ്ടിച്ച് ആ അർധചാലകത്തിന്റെ ചാലകത്വം വർധിപ്പിക്കാൻ സാധിക്കും. പക്ഷേ, ഇവിടെ ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണം ഹോളുകളുടെ എണ്ണവുമായി താരതമ്യം ചെയ്താൽ വളരെ കുറവായിരിക്കും. ഈ സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോണുകൾ തെർമൽ അജിറ്റേഷൻ എന്ന പ്രക്രിയ വഴി ഉണ്ടാകുന്നവയാണ്. ഇവിടെ ഹോളുകളുടെ എണ്ണം ഇലക്ട്രോണുകളുടെ എണ്ണത്തെ അപേക്ഷിച്ച് വളരെ കൂടുതലായതിനാൽ ഹോളുകളെ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരെന്നും ഇലക്ട്രോണുകളെ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകരെന്നും വിളിക്കുന്നു.

ഒരു N ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറിൽ കൂടുതൽ ഇലക്ട്രോണുകളും ഒരു P ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറിൽ കൂടുതൽ ഹോളുകളുമുണ്ട് എന്ന് നമ്മൾ മുൻപ് ചർച്ചചെയ്തല്ലോ. എന്നാൽ ഒരു N ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടറിന് നെഗറ്റീവ് ചാർജും ഒരു P ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറിന് പോസിറ്റീവ് ചാർജും ഉള്ളതായി നിങ്ങൾ വിചാരിക്കുന്നുണ്ടോ? ഇവിടെ കൂടുതൽ എന്ന വാക്കുകൊണ്ട് ഉദ്ദേശിക്കുന്നത് വാലൻസ് ബാൻഡിലെ കോവാലന്റ് ബോണ്ടുകൾ നിറയ്ക്കാൻ ആവശ്യമായതിൽ കൂടുതൽ എന്നാണ്. അതല്ലാതെ പ്രോട്ടോണുകളേക്കാൾ കൂടുതൽ ഇലക്ട്രോണുകൾ ആ പദാർഥഘടനയിൽ ഉണ്ട് എന്നല്ല. അതിനാൽ P ടൈപ്പും N ടൈപ്പും അർധചാലകങ്ങൾ വൈദ്യുതപരമായി ന്യൂട്രലാണ്.

## 3.11 അർധചാലകങ്ങളിലെ ചാർജ് വാഹകരുടെ സഞ്ചാരം

ഡിഫ്യൂഷൻ, ഡ്രിഫ്റ്റ് എന്നീ രണ്ടു രീതിയിലാണ് ചാർജ് വാഹകർ ഒരു അർധചാലകത്തിലൂടെ സഞ്ചരിക്കുന്നത്. ഗാഢതാവ്യതിയാനത്തെ (കോൺസൻട്രേഷൻ ഗ്രേഡിയന്റ്) അടിസ്ഥാനമാക്കി

യുള്ള ചാർജ്‌വാഹകരുടെ സഞ്ചാരത്തിന് ഡിഫ്യൂഷൻ എന്നും ഇലക്ട്രിക് ഫീൽഡിന്റെ സ്വാധീനം കൊണ്ടുള്ള ചാർജ് വാഹകരുടെ സഞ്ചാരത്തെ ഡ്രിഫ്റ്റ് എന്നും പറയുന്നു. മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ഡ്രിഫ്റ്റ്, ഡിഫ്യൂഷൻ എന്നിവ മൂലവും മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ഡ്രിഫ്റ്റ് എന്നതു കൊണ്ടു മാത്രവുമാണ് സഞ്ചരിക്കുന്നത്.

***പ്രവർത്തനം 2***

പട്ടിക പൂർത്തീകരിക്കുക

| N ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടർ | P ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടർ |
|---|---|
| ശുദ്ധ സെമി കണ്ടക്ടറിൽ പെന്റാവാലന്റ് ഇംപ്യൂരിറ്റി ചേർക്കപ്പെട്ടത് | കൂടുതൽ ഹോളുകൾ വൈദ്യുത ചാലകത കൂട്ടുന്നു. |
| മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹക ഹോളുകളാണ്. | |

- ഡോപ്പിങ് മൂലം ഏതുതരം വാഹകരാണ് ഉണ്ടാക്കപ്പെടുന്നത്? മെജോറിറ്റി, മൈനോരിറ്റി.
- നിങ്ങൾക്ക് മുകളിലെ പട്ടികയിലുള്ള അപദ്രവ്യ ആറ്റങ്ങളുടെ ഉദാഹരണങ്ങൾ തരാൻ കഴിയുമോ?
- നിങ്ങൾ പൂർത്തീകരിച്ച മുകളിലത്തെ പട്ടിക താഴെ കൊടുത്ത പട്ടികയുമായി താരതമ്യം ചെയ്യുക.

| N ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടർ | P ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടർ |
|---|---|
| ശുദ്ധ സെമി കണ്ടക്ടറിൽ പെന്റാവാലന്റ് അപദ്രവ്യം ചേർക്കപ്പെട്ടത് | ശുദ്ധ സെമി കണ്ടക്ടറിൽ ട്രൈവാലന്റ് അപദ്രവ്യം ചേർക്കപ്പെട്ടത് |
| കൂടുതലുള്ള ഇലക്ട്രോൺ വൈദ്യുത ചാലകത കൂട്ടുന്നു. | കൂടുതലുള്ള ഹോളുകൾ വൈദ്യുത ചാലകത കൂട്ടുന്നു. |
| മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹക ഹോളുകളാണ് | മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹക ഇലക്ട്രോണുകളാണ്. |

ഡോപ്പിങ് മൂലം കൂടുതൽ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ഉണ്ടാവുകയും അത് വൈദ്യുതചാലനത്തിനു കാരണമാവുകയും ചെയ്യുന്നു. എന്നാൽ തെർമൽ അജിറ്റേഷൻ പോലുള്ള പ്രക്രിയയിലൂടെയാണ് മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ഉണ്ടാവുന്നത്.

ബോറോൺ, ഗാലിയം, ഇൻഡിയം, അലുമിനിയം എന്നിവ ട്രൈവാലന്റ് അപദ്രവ്യ ആറ്റങ്ങളും ആർസെനിക് ആന്റിമണി, ബിസ്മിത്ത് എന്നിവ പെന്റാവാലന്റ് ഇംപ്യൂരിറ്റി ആറ്റങ്ങളുമാണ്.

## നമുക്ക് സംഗ്രഹിക്കാം

ഓരോ ഓർബിറ്റലിലുമുള്ള ഇലക്ട്രോണുകൾക്ക് ഒരു സറിരമായ ഊർജമുണ്ട്. ഓർബിറ്റലുള്ള ഇലക്ട്രോണുകളുടെ ഊർജനിലകളെയാണ് എനർജി ബാൻഡ് എന്നു വിളിക്കുന്നത്. വാലൻസ് ബാൻഡും കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡും തമ്മിൽ ഊർജനിലയിലുള്ള വ്യത്യാസത്തെ "ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ് എന്നു വിളിക്കുന്നു. എനർജി ബാൻഡ് ഡയഗ്രം ഉപയോഗിച്ച വസ്തുക്കളെ കണ്ടക്ടറുകൾ, ഇൻസുലേറ്ററുകൾ, സെമി കണക്ടറുകൾ എന്നിങ്ങനെ തരംതിരിക്കാം. സെമി കണ്ടക്ടറുകളുടെ വൈദ്യുതചാലകതയെ ഡോപ്പിങ് എന്ന പ്രവർത്തനം മുഖേന അപദ്രവ്യം കൂട്ടാൻ സാധിക്കും. N - ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറുകൾ ഉണ്ടാക്കാൻ പെന്റാവാലന്റ് അപദ്രവ്യം ഉപയോഗിച്ചാണ് ഡോപ്പിങ് ചെയ്യുന്നത്. അതുപോലെ ട്രൈവാലന്റ് അപദ്രവ്യം ഉപയോഗിച്ച് ഡോപ്പിങ് ചെയ്താൽ P - ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടർ ഉണ്ടാക്കിയെടുക്കാൻ സാധിക്കും.

## പഠനനേട്ടങ്ങൾ

ഈ അധ്യായം ഉൾക്കൊണ്ട ശേഷം കുട്ടികൾക്ക് താഴെ പറയുന്ന കാര്യങ്ങൾ ചെയ്യാൻ സാധിക്കണം.

1. ഒരു ആറ്റത്തിന്റെ ഘടന വരച്ച് അതിനെക്കുറിച്ച് വിവരിക്കാൻ കഴിയുന്നു.
2. ഖരപദാർഥത്തിലെ ഊർജനിലയെക്കുറിച്ച് വിവരിക്കാനും ഖരപദാർഥങ്ങളെ തരംതിരിക്കാനും സാധിക്കുന്നു.
3. സെമി കണ്ടക്ടറുകളുടെ പ്രത്യേകതകളെക്കുറിച്ച് വിവരിക്കാൻ.
4. ഡോപ്പിങ് എന്ന പ്രവൃത്തി എന്തിനു വേണ്ടിയാണെന്നും അത് എങ്ങനെ ചെയ്യുന്നു എന്നും വിവരിക്കാൻ.
5. ഡോപ്പിങ്ങിനെ അടിസ്ഥാനമാക്കി സെമി കണ്ടക്ടറുകളെ തരംതിരിക്കാൻ കഴിയുന്നു.
6. മൈനോറിറ്റി, മേജാറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ എങ്ങനെ ക്രമീകരിക്കപ്പെടുന്നു എന്നതിനെക്കുറിച്ച് വിവരിക്കാൻ സാധിക്കണം.
7. സെമി കണ്ടക്ടറുകളിലെ വൈദ്യുതചാലനത്തെ എങ്ങനെ ചാർജ് വാഹകർ സ്വാധീനിക്കുന്നു എന്നതിനെക്കുറിച്ച് വിവരിക്കാൻ സാധിക്കണം.

# വിലയിരുത്തൽ ചോദ്യങ്ങൾ

### വസ്തുനിഷ്ഠ ചോദ്യങ്ങൾ

1. ഒരു P ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറിന്
   a. പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ഉണ്ടായിരിക്കും. b. നെഗറ്റീവ് ചാർജ് ഉണ്ടായിരിക്കും.
   c. ചാർജ് ഉണ്ടായിരിക്കില്ല. d. പോസിറ്റീവോ നെഗറ്റീവോ ചാർജ് ഉണ്ടായിരിക്കും.
2. ഒരു N ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറിലെ മൈനോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ഏതാണ്.
   a. ഇലക്ട്രോണുകൾ b. ഹോളുകൾ
   c. ന്യൂട്രോണുകൾ d. പോസിറ്റീവ് അയോണുകൾ
3. ലോഹങ്ങളിലെ ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ് എങ്ങനെയാണ്?
   a. < 3e V b. 3e V നും 9e V നും ഇടയിൽ
   c. > 3e V d. 9 e V
4. ഒരു ജെർമേനിയം ക്രിസ്റ്റൽ ഫോസ്ഫറസ് ആറ്റം ഉപയോഗിച്ച് ഡോപ്പ് ചെയ്താൽ കിട്ടുന്ന വസ്തു ഏതാണ്?
   a. ഒരു P ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടർ b. ഒരു N ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടർ
   c. ഒരു ശുദ്ധ സെമി കണ്ടക്ടർ d. ഒരു സെമി കണ്ടക്ടർ
5. ആറ്റത്തിന്റെ ഘടനയിൽ ഒരു ഇലക്ട്രോണിന്റെ കുറവിനെ സൂചിപ്പിക്കുന്ന പദം ഏതാണ്?
   a. വാലൻസ് ഇലക്ട്രോൺ b. ഹോൾ
   c. സ്വതന്ത്ര ഇലക്ട്രോൺ d. നെഗറ്റീവ് ചാർജുള്ള അയോൺ
6. ഒരു N ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറിലെ കറന്റിൽ കൂടിയ പങ്കും താഴെ പറയുന്നവയിൽ ഏതു മൂലമായിരിക്കണം?

a. കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡ് ഇലക്ട്രോൺ

b. വാലൻസ് ബാൻഡ് ഇലക്ട്രോൺ

c. വാലൻസ് ബാൻഡിലെ ഹോളുകൾ മൂലം

d. ചൂടുകാരണം ഉണ്ടാകുന്ന ഇലക്ട്രോണുകൾ

7. ഒരു പെന്റാവാലന്റ് അപദ്രവ്യം സെമി കണ്ടക്ടറിൽ ഡോപ്പ് ചെയ്താൽ എന്താണ് കൂടുതലായി ഉണ്ടാകുന്നത്?

a. ഫ്രീ ഇലക്ട്രോൺ
b. ഹോളുകൾ
c. വാലൻസ് ഇലക്ട്രോണുകൾ
d. ഇൻട്രിൻസിക് സെമി കണ്ടക്ടർ

8. ഒരു N ടൈപ്പ് സെമി കണ്ടക്ടറിന്

a. പോസിറ്റീവ് ചാർജ് ഉണ്ടായിരിക്കണം.
b. നെഗറ്റീവ് ചാർജ് ഉണ്ടായിരിക്കണം.
c. ചാർജ് ഉണ്ടായിരിക്കില്ല.
d. മുകളിൽ പറയുന്നതൊന്നുമല്ല.

9. ആറ്റത്തിൽ നിന്ന് ഒരു ഇലക്ട്രോൺ നഷ്ടമായാൽ, ആറ്റം

a. പോസിറ്റീവ് അയോൺ ആകും.
b. നെഗറ്റീവ് അയോൺ ആകും.
c. ചാർജ് ഉണ്ടായിരിക്കില്ല.
d. സ്വതന്ത്രമായി ചലിക്കുന്നതാകും.

10. സിലിക്കണിന്റെ ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗ്യാപ്പ്

a. 0.7eV b. 0eV c. 0.3eV d. 1.1eV

## ഉത്തരസൂചിക

1) c 2) b 3) c 4) b 5)b 6)a 7) a 8) c 9) a 10) d

## വിവരണാത്മകചോദ്യങ്ങൾ

1. ആറ്റങ്ങൾ കൂടിച്ചേർന്ന് ഒരു ഖരപദാർഥമായിരിക്കുമ്പോൾ അതിലെ ഊർജനിലകൾ എന്തുകൊണ്ടാണ് പലതായി വേർതിരിഞ്ഞ് ഊർജഘടനകളായി മാറുന്നത്?
2. ഊർജഘടനാ ചിത്രങ്ങൾ ഉപയോഗിച്ച് ഇൻസുലേറ്റർ, കണ്ടക്ടർ, സെമി കണ്ടക്ടർ എന്നിവയുടെ വ്യത്യാസങ്ങൾ വിശദീകരിക്കുക.
3. വാലൻസ് ബാൻഡ്, കൺഡക്ഷൻ ബാൻഡ്, ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പ് എന്നിവ നിർവചിക്കുക.
4. സാധാരണ താപനിലയിൽ ജെർമേനിയത്തിന്റെ വൈദ്യുതചാലനം സിലിക്കണിന്റേതിനേക്കാൾ കൂടിയിരിക്കുന്നതെന്തുകൊണ്ടാണ്?
5. ഹോളിനെ നിർവചിക്കുക. ഒരു സെമികണ്ടക്ടറിലെ ഹോളുകളുടെ ചലനത്തെപ്പറ്റി വിശദീകരിക്കുക.
6. ഒരു ശുദ്ധ സെമികണ്ടക്ടറിലേക്ക് അപദ്രവ്യം ചേർക്കുന്നതെന്തിനെന്നു വിശദീകരിക്കുക.
7. N ടൈപ്പ് സെമികണ്ടക്ടറിലെ മെജോറിറ്റി ചാർജ് വാഹകർ ഏതാണ്?
8. ശുദ്ധ, അശുദ്ധ സെമികണ്ടക്ടറുകളെക്കുറിച്ച് നിങ്ങൾക്കെന്തറിയാം?
9. കേവലപൂജ്യ (അബ്സല്യൂട്ട് സീറോ) താപനിലയിൽ ഒരു സെമി കണ്ടക്ടർ എന്തുകൊണ്ടാണ് ഇൻസുലേറ്ററിന്റെ സ്വഭാവം കാണിക്കുന്നത്?
10. സാധാരണയായി ഉപയോഗിക്കുന്ന രണ്ടു സെമികണ്ടക്ടറുകളുടെ പേരെഴുതുക. അവയുടെ ഫോർബിഡൻ എനർജി ഗാപ്പിനെക്കുറിച്ച് എഴുതുക.