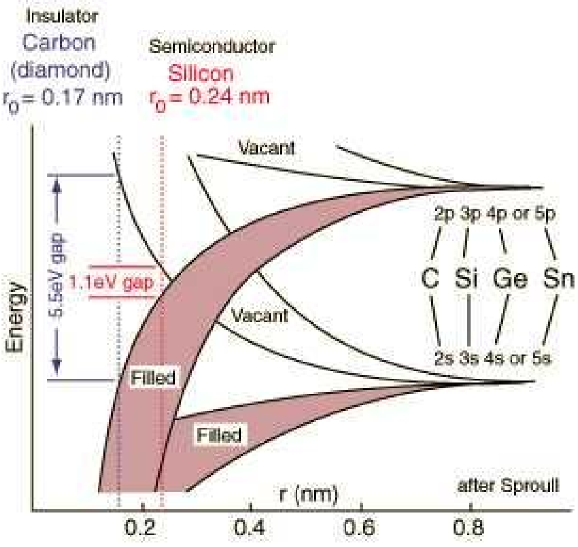
चैप्टर–5

अर्ध चालक डिवाइस (Semiconductor Device)

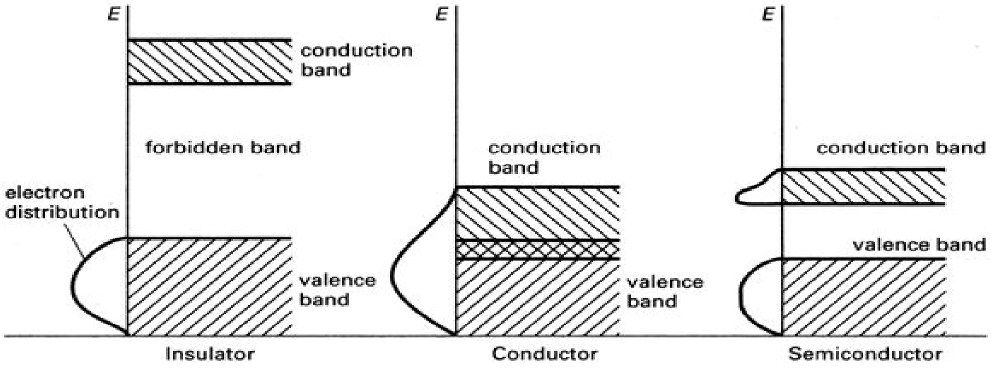
ELECTRON ENERGY AND ENERGY BAND :

परमाणु में electron विभिन्न कक्षाओं में न्युक्लियस के चारों और घूमते हैं। एक निष्चित कक्षा में घूमते इलेक्ट्रॉन की निष्चित एनर्जी होती है। न्युक्लियस के निकटतम आर्बिट में घूमने वाले इलेक्ट्रॉन की एनर्जी न्यूनतम एवं सबसे बाहरी आर्बिट में घूमने वाले इलेक्ट्रॉन की एनर्जी सबसे अधिक होती है। सबसे बाहरी आर्बिट को संयोजी कक्षा (Valency Orbit) कहते हैं। किसी इलेक्ट्रॉन को उसके आर्बिट से बाहर निकालने के लिए एनर्जी की आवष्यकता होती है क्योंकि न्यूक्लियस के नजदीकी आर्बिट के इलेक्ट्रॉन न्युक्लियस के आकर्षण बल से जुड़े रहते है तथा जैसे जैसे कक्षा बढ़ती जाती है इलेक्ट्रॉन से आकर्षण बल कम होता जाता है। यदि परमाणु में इलेक्ट्रॉन को एक आर्बिट से दूसरे आर्बिट में ट्रॉसफर करना है तो इलेक्ट्रॉन को न्युक्लिस के आकर्षण बल से ज्यादा एनर्जी देनी होगी।

यदि किसी परमाणु को बाहर से प्रकाष आदि के रूप में एनर्जी दी जाती है तो परमाणु के इलेक्ट्रॉन उत्तेजित (excited) हो जाते हैं। और इस समय इलेक्ट्रॉन कम एनर्जी की कक्षा से अधिक एनर्जी की कक्षा में ट्रॉसफर हो जाता है।



वैलेंसी इलेक्ट्रॉन की बांडिंग क्रिया के कारण हर पदार्थ के एटम आपस में जुड़े रहते हैं। हर एटम में यह गुण होता है कि वह अपने आखिरी आर्बिट में $2N^2$ इलेक्ट्रॉन पूरा करने का प्रयत्न करता है। अधिकतर एलीमेंटस् की बाहरी कक्षा अधूरी होती है अर्थात उनके आखरी चक्र में $2N^2$ इलेक्ट्रॉन नहीं होते है जिससे तत्व सक्रिय हो जाते है और यह दूसरे परमाणु से सौदेबाजी करना आरंभ कर देते है। इस क्रिया में परमाणु के इलेक्ट्रॉन की हानि, लाभ या साझेदारी हो सकती है।



किसी चालक पदार्थ में विद्युत धारा का बहना उसकी बाहरी कक्षा में मौजूद electron के प्रवाह के कारण होता है। ये electron पदार्थ के परमाणुओं के वे electron होते है जो कि सबसे बाहरी आर्बिट (कक्षा) में रहने के कारण न्यूक्लियस (नाभिक) से अन्य कक्षाओं की तुलना में कम बल से जुड़े रहते हैं एवं बहुत कम ऊर्जा मिलने पर ही परमाणु से पृथक हो जाते है। पदार्थो को विद्युत चालकता के आधार पर इन्हे तीन वर्गो में बॉटा गया है।

1. कंडक्टर, 2. इंसूलेटर, 3. सेमीकंडक्टर।

तीनो मटेरियल की तुलना नीचे लिखे अनुसार है:-

स.क्र.	तुलनात्मक पेरामीटर	कंडक्टर	इंसूलेटर	सेमी कंडक्टर
1	कंडक्टीविटी	बहुत अधिक	बहुत कम	मध्यम
2	रेजिस्टीविटी	बहुत कम	बहुत अधिक	मध्यम
3	फोरबिडन गेप	नो गेप	लार्ज गेप	मध्यम गेप
4	रजिस्टेन्स को-एफिशियेंट तापमान पर	धनात्मक	ऋणात्मक	ऋणात्मक
5	रजिस्टेन्स तापमान के प्रभाव पर	तापमान बढ़ेगा तो रजिस्टेंस बढ़ेगा	तापमान बढ़ेगा तो रजिस्टेंस घटेगा	तापमान बढ़ेगा तो रजिस्टेंस घटेगा
6	कंडक्शन के लिऐ उपलब्ध इलेक्ट्रान की संख्या	बहुत अधिक	बहुत कम	मध्यम
7	कमरे के तापमान के अनुसार कंडक्टीविटी	बहुत अच्छी	नही	मध्यम
8	पदार्थ	एल्युमीनियम, तॉबा आदि	ग्लास,पेपर,माइका आदि	जरमेनियम,सिलिकान आदि
9	उपयोग	वायरिंग में	वायर का इन्सूलेटर केपेस्टर	सेमी कंडक्टर कम्पोनेंट

कुछ प्रमुख कंडक्टर, सेमीकंडक्टर एवं इन्सुलेटर पदार्थों की कमरे के तापमान पर कंडक्टिविटी एवं रेजिस्टीविटी निम्नानुसार है:-

पदार्थ का नाम	कंडक्टविटी म्हो/मीटर	रेजिस्टीविटी Ω/मी	वर्गीकरण
चॉदी Silver तॉबा (Copper) एल्युमीनियम(Aluminium)	$6.25x10^{7}$ $5.88x10^{7}$ $3.85x10^{7}$	$1.6x10^{-8}$ $1.7x10^{-8}$ $2.6x10^{-8}$	कंडक्टर
जरमेनियम शुद्ध(Germanium-Pure) सिलिकान शुद्ध(CSilicon-Pure)	1.54 $5.0x10^{-4}$	$6.5x10^{-1}$ $2.0x10^{3}$	सेमी कंडक्टर
पोर्सलेन(Porcelain) ग्लास कठोर रबर	$3.33x10^{-10}$ $5.88x10^{-12}$ $1.0x10^{-16}$	$3.0x10^{9}$ $1.7x10^{11}$ $1.0x10^{16}$	इन्सुलेटर

सेमीकंडक्टर (Semi Conductor) :

सेमीकंडक्टर की कंडक्टिविटी कंडक्टर और इंसुलेटर के बीच होती है जो 10^{-6} से 10^{-5} ओम /मीटर होती है तथा सेमीकंडक्टर तापमान पर निर्भर करती हैं। सेमीकंडक्टर निगेटिव तापमान कोफिसियेंट की श्रेणी में आते हैं।कुछ प्रमुख सेमीकंडक्टर के नाम हैं- जरमेनियम, सिलीकॉन, कार्बन, टिन, आर्सेनिक, बोरोन आदि।

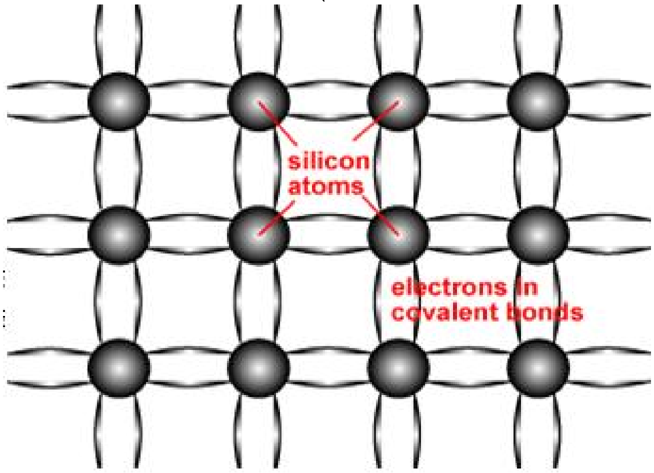
वास्तव में इन पदार्थो के वैलेंसी बैंड पूरे भरे होते है और कंडक्शन बैंड बिल्कुल खाली रहते हैं जैसे कि इन्सूलेटर्स में होते हैं। सेमीकंडक्टर में वैलेंस बैंड और कंडक्षन बैंड के मध्य फोरबिडन ऊर्जा गेप बहुत कम होता है। इसलिए हल्के इलैक्ट्रिक फील्ड से ही वैलेंसी इलैक्ट्रॉन वैलेंसी बैंड से कंडक्षन बैंड में पहुॅच जाते है। ये पदार्थ साधारण अवस्था में इंसूलेटर की तरह व्यवहार करते है परन्तु जब तापम.

ान बढ़ता है तब ज्यादा संख्या में इलैक्ट्रॉन कंडक्षन बैंड में पहुॅचते हैं जिससे इनकी कंडक्टिविटी बढ़ जाती है।

सेमीकंडक्टर (Semi Conductor) में बोंड्स :

प्योर सेमीकंडक्टर्स में एटम के वैलेंसी इलैक्ट्रॉन्स की आपसी साझेदारी से बोंड बनते है। जिनको कोवैलेंट बोंड कहते है। बोंड बनाने में हर परमाणु से वैलेंसी इलैक्ट्रान साझेदारी करते है और बोंड बनाने वाले सभी परमाणु इसका लाभ उठाते है।

चित्र में सिलिकॉन के एटम के कोवैलेंट बोंड्स को दिखाया गया है –



जर्मेनियम periodic table के चतुर्थ वर्ग का तत्व है इसका परमाणु भार 72.59 तथा परमाणु संख्या 32 है। इसमें चार वैलेंसी इलैक्ट्रॉन होते है अर्थात बाहर की कक्षा में 4 इलेक्ट्रॉन होते हैं। जैसे कि पहले बताया गया है कि जर्मेनियम का परमाणु अपने बाहरी चक्र में 8 इलेक्ट्रॉन पूरा करने का प्रयत्न करेगा। इसके लिए जरमेनियम परमाणु को दूसरे परमाणु के मध्य साझेदारी स्थापित करना पड़ती हैं और हर पड़ोसी परमाणु को मध्य वाले परमाणु के साथ इलैक्ट्रॉन्स की साझेदारी करनी पड़ती है।

इस प्रकार मध्य वाला एटम अपने 4 इलेक्ट्रॉन की साझेदारी पड़ोसी एटम से कर लेता है। जिससे इसके बाहरी कक्षा में 8 इलैक्ट्रॉन हो जाते है। इसलिए साधारण अवस्था में सेमीकंडक्टर में करंट का प्रवाह नहीं होता इस अवस्था में सेमीकंडक्टर इंसुलेटर की तरह व्यवहार करता है।

सेमीकंडक्टर की विषेषताएं :

सेमीकंडक्टर की रजिस्टीविटी कंडक्टर और इंसुलेटर के बीच अर्थात 102 से 0.5 ओह्म पर मीटर होती है। परंतु अकेली रजिस्टीविटी के आधार पर यह निर्धारित नहीं होता कि इस रजिस्टीविटी का कोई भी पदार्थ सेमीकंडक्टर ही होगा। इसकी कई और विषेषताएं भी होती है जो इनको दूसरे पदार्थो से अलग करती है।

1.सेमी कंडक्टर की रजिस्टीविटी 102 से 0.5 ओह्म/मीटर होती है। यहां यह प्रष्न उठता है कि तब तो नाइक्रोम की रजिस्टीविटी (1 Ω/मी) रखकर इसे भी सेमीकंडक्टर श्रेणी रखना चाहिए परंतु ऐसा नही है। कारण है कि नाइक्रोम दो मैटल का मिश्रण है। इसके परमाणुओं की आउटर आर्बिट में चार वैलेंसी इलैक्ट्रॉन नहीं होते।

2.सेमीकंडक्टर्स निगेटिव तापक्रम कोएफिषियेंट श्रेणी में आते हैं तापक्रम बढ़ने से इनके रजिस्टैंस में कमी आती है और घटने पर यह बढ़ता है। इस विषेषता के अनुसार कम तापमान पर सेमीकंडक्टर इंसुलेटर की तरह और अधिक तापक्रम पर कंडक्टर की तरह व्यवहार करता है। किसी सेमीकंडक्टर के तापमान T एवं सेमीकंडक्टर की रजिस्टीविटी R के मध्य निम्न संबंध होता है–

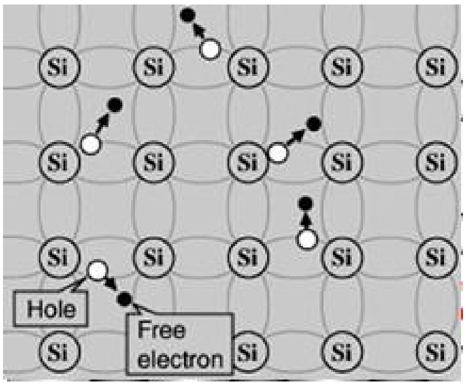
$$R= A_cB/T$$

यहॉ A_c तथा B प्रयुक्त सेमीकंडक्टर के नियतांक है।

3.जब इसमें इम्प्योरिटी (जैसे आर्सेनिक,एंटिमनी आदि) मिलाई जाती है इसके करंट बहने की क्षमता में बेहद परिवर्तन आ जाता है। वास्तव में सेमीकंडक्टर की इसी विषेषता का लाभ उठाकर सॉलिड स्टेट कंपोनेंट जैसे डायोड, ट्रॉजिस्टर आदि बनाते है।

इन्ट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर (Intrinsic Semi Conductor) :

शुद्ध सिलिकॉन तथा जरमेनियम इंट्रिसिंक सेमीकंडक्टर कहलाते हैं कम तापक्रम पर सेमी. कंडक्टर के इलेक्ट्रॉन वैलेंसी बैंड में रहते है और कंडक्षन बैंड खाली रहता है जब सेमीकंडक्टर को गर्मी दी जाती है तब कुछ वैलेंसी इलैक्ट्रॉन वैलेंसी बैंड से कंडक्षन बैंड में आ जाते है और वैलेंसी बैंड में खाली स्थान छोड़ जाते हैं। सामान्य तापक्रम पर जब सेमीकंडक्टर को वोल्टेज दी जाती है तब करंट का बहना आरंभ हो जाता है जो दो प्रकार के चार्ज (इलेक्ट्रॉन तथा होल्स) के कारण बहता है। इलैक्ट्रॉन पॉजीटिव टर्मिनल की ओर तथा होल्स निगेटिव टर्मिनल की और मंद गति से (drift) से बहने लगते है इसमें कुल करंट दोनो के योग के बराबर होता है।



जब शुद्ध सेमीकंडक्टर पदार्थ में कोई उचित पदार्थ अषुद्धि के रूप में मिलाया जाता है तब इन्ट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर पदार्थ अषुद्धि मिलाये जाने के पश्चात एक्सट्रिंसिक सेमीकंडक्टर बन जाता है।

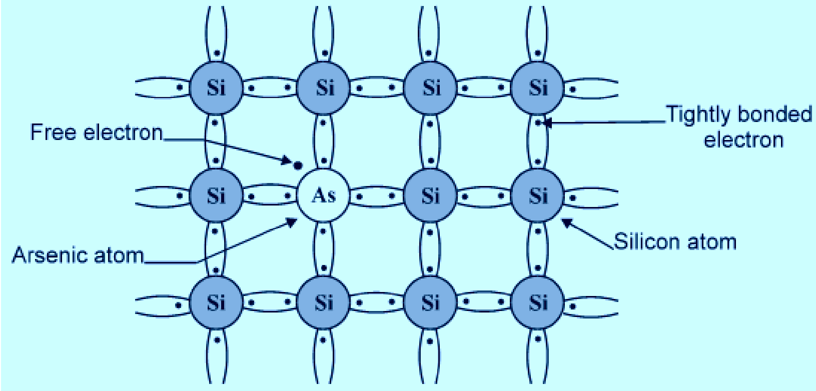
एक्सट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर Extrinsic Semi Conductor) :

अभी तक हम जान चुके है कि कमरे के तापमान में शुद्ध सेमीकंडक्टर में कंडक्टीविटी कम होती है अतः शुद्ध सेमीकंडक्टर ज्यादा उपयोगी नहीं होते। जब शुद्ध सेमीकंडक्टर में कुछ मात्रा में निष्चित अषुद्धियॉ मिलाई जाती है तब सेमीकंडक्टर की कंडक्टीविटी बदल जाती है। शुद्ध सेमी कंडक्टर में अषुद्धि मिलाने की प्रक्रिया को डोपिंग कहते है। किसी सेमीकंडक्टर में अषुद्धि $1:10^8$ में मिलाते है तो 10^6 से 10^{10} तक कंडक्टीविटी बढ़ जाती है। अषुद्धि से इलेक्ट्रान या होल्स की संख्या काफी बढ़ जाती है। इस प्रकार का सेमीकंडक्टर पदार्थ एक्सट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर कहलाता है। यह कम तापक्रम पर भी करंट बहानें में समर्थ हो जाता है। शुद्ध सेमीकंडक्टर में निम्न दो तरह की अषुद्धि मिलाई जाती है।

I. डोनर इम्प्युरिटी (पेन्टावेलेन्ट इम्प्युरिटी)।
II. एक्सेप्टर इम्प्युरिटी (ट्राइवेलेन्ट इम्प्युरिटी)।

डोनर इम्प्युरिटी (पेन्टावेलेन्ट इम्प्युरिटी)

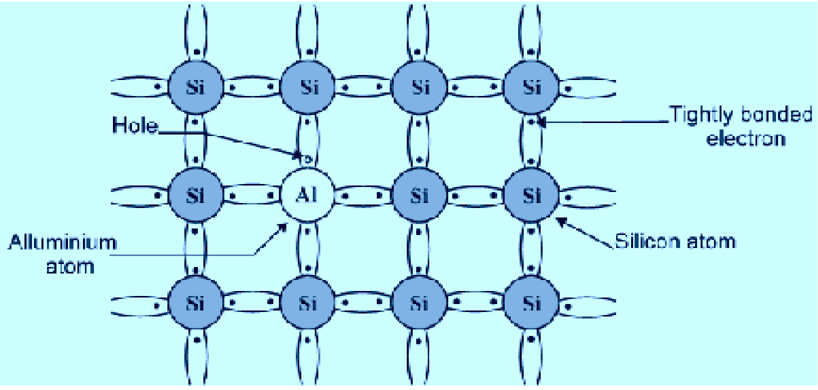
शुद्ध सिलिकॉन या जरमेनियम को N-type एक्सट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर बनाने के लिये उसमें पेन्टावेलेन्ट इम्प्युरिटी मिलाई जाती है। अधिकतर प्रयोग होने वाली पेन्टावेलेन्ट इम्प्युरिटी आर्सेनिक एवं एंटीमनी है। आईये सिलिकॉन में आर्सेनिक अषुद्धि को मिलाकर देखते है क्योकि आर्सेनिक के बाहरी कक्षा में 5 इलेक्ट्रॉन होते है (कुल 33) एवं सिलिकॉन की बाहरी कक्षा में 4 इलेक्ट्रान होते है। आर्सेनिक के 4 इलेक्ट्रॉन, सिलिकॉन के 4 इलेक्ट्रॉन के साथ कोवैलेंट (covalent) बोंड बना लेते है और आर्सेनिक का बचा हुआ पांचवा इलैक्ट्रॉन सिलिकॉन क्रिस्टल में मुक्त रहता है।



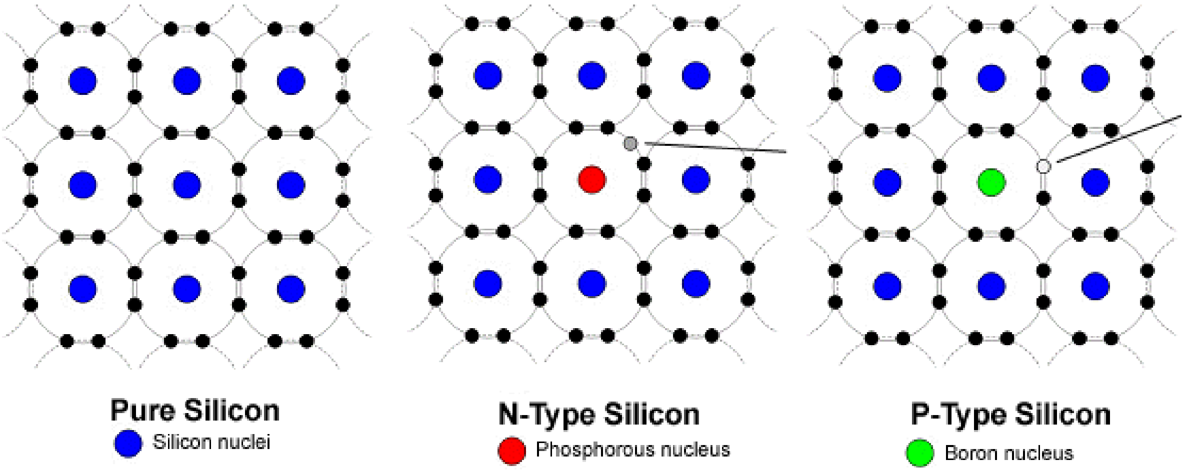
इससे सिलिकॉन क्रिस्टल की कंडक्टीविटी बढ़ जाती है इस प्रकार की अषुद्धि को डोनर अषुद्धि कहते है। क्योंकि आर्सेनिक ने अपना एक इलेक्ट्रॉन दान कर दिया इस प्रकार का सिलिकॉन क्रिस्टल एन टाईप सेमीकंडक्टर बन जाता है। इसमें करंट निगेटिव चार्ज इलेक्ट्रॉन द्वारा प्रवाहित होता है।

एक्सेप्टर.इम्प्युरिटी (ट्राईवेलेन्ट इम्प्युरिटी)

शुद्ध सिलिकॉन या जरमेनियम को P-type एक्सट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर बनाने के लिये उसमें ट्राईवेलेंट इम्प्युरिटी मिलाई जाती है। अधिकतर प्रयोग होने वाली ट्राईवेलेंट इम्प्युरिटी इंडियम, एल्युमीनियम और गैलियम है। आईये जरमेनियम में एल्युमीनियम अषुद्धि को मिलाकर देखते है क्योकि एल्युमीनियम के बाहरी कक्षा में 3 इलेक्ट्रॉन होते है (कुल 49) एवं जरमेनियम की बाहरी कक्षा में 4 इलेक्ट्रॉन होते है। जब एल्युमीनियम के 3 इलेक्ट्रॉन जरमेनियम के 4 इलेक्ट्रॉनों के साथ कोवैलेंट बोंड बनाते है तो एक इलेक्ट्रॉन की कमी हो जाती है। इलेक्ट्रॉन की कमी का यह हिस्सा इस प्रकार व्यवहार करता है कि जैसे कि पॉजीटिव चार्ज पार्टिकल पैदा हो गया हो जिसका चार्ज इलेक्ट्रॉन के बराबर परंतु पॉजीटिव होता है इन पार्टिकल को होल्स कहते है।



इस क्रिस्टल में करंट के प्रवाह करने का उत्तरदायित्व इन्हीं होल्स पर होता है। होल का पॉजीटिव चार्ज $Q=1.6x10^{-19}$ इलैक्ट्रॉन के बराबर होता है। होल्स इलैक्ट्रॉन की तरह स्वयं चलते नहीं हैं। बल्कि इलैक्ट्रॉन को अपनी ओर खींचकर आगे होल पैदा कर देते है। जिससे यह आभास होता है कि होल आगे बढ गया। इस प्रकार की अषुद्धि को एक्सेप्टर अषुद्धि या ट्राइवेलेन्ट इम्प्युरिटी कहते है। इस प्रक्रिया से पी टाईप सेमीकंडक्टर बन जाता है। इसमें एक इलेक्ट्रॉन की कमी बनी रहती है इसलिए इसे एक्सेप्टर भी कहते है।



N- Type सेमी कंडक्टर :–

यदि सिलिकॉन या जरमेनियम सेमीकंडक्टर में एन्टीमनी, फास्फोरस या आर्सेनिक ऐलीमेंट को अषुद्धि के रूप में सूक्ष्म मात्रा (लगभग दस लाखवा हिस्सा) में मिलाया जाए तो सेमीकंडक्टर N- type एक्सट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर कहलाता है।

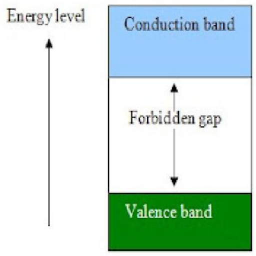
जरमेनियम में सूक्ष्म मात्रा में आर्सेनिक को अषुद्धि के रूप में मिलाया जाता है तब आर्सेनिक के 4 तथा जरमेनियम के 4 इलेक्ट्रॉनों के साथ कोवैलेंट (covalent) बॉड बना लेते है और इस प्रकार आर्सेनिक का एक इलेक्ट्रॉन मुक्त रहता है जो कि बहुत कम एनर्जी पर ही कंडक्षन बैण्ड में आ जाता है। सिलिकॉन या जरमेनियम में पॉचवें ग्रुप की अषुद्धि आर्सेनिक मिलाने पर अषुद्धि का प्रत्येक परमाणु एक फ्री इलैक्ट्रॉन देकर प्लस आयन बन जाता है तथा इस अषुद्धि युक्त कंडक्टर्स को N- type सेमी. कंडक्टर कहते है N- type सेमीकंडक्टर्स में होल्स की अपेक्षा स्वतंत्र इलैक्ट्रॉनों की संख्या बहुत अधिक होती है। N- type सेमीकंडक्टर में धारा का प्रवाह फ्री इलैक्ट्रॉन की वजह से होता है जिनमें निगेटिव चार्ज होता है।

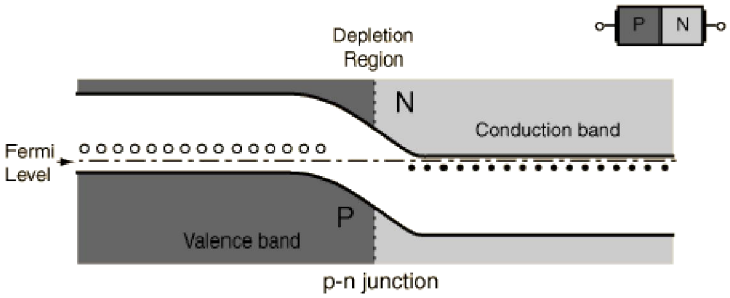
P- type सेमीकंडक्टर :–

यदि सिलिकॉन या जरमेनियम सेमीकंडक्टर में बोरान, इंडियम, एल्युमीनियम या गैलियम को अषुद्धि के रूप में सूक्ष्म मात्रा (लगभग दस लाखवा हिस्सा) मिलाया जाए तो सेमीकंडक्टर P-type एक्सट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर कहलाता है। जरमेनियम में इंडियम अषुद्धि के रूप में मिलाया जाता है तब अषुद्धि की मात्रा बहुत कम होती है इसलिए इंडियम के परमाणु को जरमेनियम परमाणु घेर लेते हैं। इंडियम परमाणु की बाहय आर्बिट में तीन इंलैक्ट्रॉन होते है तथा जरमेनियम के तीन परमाणु के साथ कोवैलेंट (covalent) बोंड बना लेते है और इस प्रकार जरमेनियम का चौथा इलैक्ट्रान इंडियम के साथ कोवैलेंट बोंड नहीं बना पाता है अतः इंडियम परमाणु के एक इलैक्ट्रॉन की कमी बनी रहती है। जिससे चौथे कोवैलेंट बोंड में इलैक्ट्रॉन की कमी से होल्स पैदा हो जाता है इस अपूर्ण कोवैलेंट बोंड में अन्य इलैक्ट्रॉन को ग्रहण करने की प्रवृत्ति होती है। जिससे यह निकट के कोवैलेंट बोंड से एक इलैक्ट्रॉन खींच कर अपनी पूर्ती कर लेता है लेकिन पास के कोवैलेंट बोंड में एक इलैक्ट्रॉन की कमी हो जाती है अर्थात वहॉ पुनः होल्स निर्मित हो जाता है। अतः इस को एक्सेप्टर इम्प्युरिटी कहते है एक्सेप्टर इम्प्युरिटी के कारण निकट के परमाणु के कोवैलेंट बोंड टूटने के कारण कुछ होल्स और बनते है जिनकी संख्या फ्री इलैक्ट्रॉन के बराबर होती है। इस तरह P - type सेमीकंडक्टर में होल्स बहुसंख्यक (मेजारटी चार्ज केरियर) एवं इलैक्ट्रॉन अल्पसंख्यक (माईनारटी) में होते है। N – type सेमीकंडक्टर में इससे उल्टा होता है।

फर्मी लेवल (Fermi Level) :

सेमीकंडक्टर में एनर्जी स्टेट या एनर्जी लेवल लगभग 50% तक इलैक्ट्रॉनों से भरा जाता है उसे फेरमी लेवल कहते है। इंट्रिसिंक सेमीकंडक्टर में फर्मी लेवल कंडक्षन बैंड और वैलेंस बैंड के मध्यम में होता है।

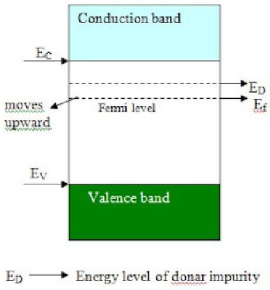




चित्र में दर्षाया गया है कि तापमान $T - 0^0K$, पर सभी एनर्जी का लेवल शुन्य रहता है लेकिन जैसे ही तापमान को बढ़ाया जाता है वैसे ही सभी एनर्जी लेवल फर्मी लेवल को भरने के लिए कब्जा कर लेते है या फिर उस जगह को भर देते है तथा जेसे ही तापमान बढ़ जाता है वैसे ही कुछ कोवैलेंट बोंड टूट जाते है और कंडक्षन बैंड की और चले जाते है। जिससे फर्मी लेवल उपरी ओर षिफ्ट हो जाता है।

फर्मी लेवल (Fermi Level) N- Type) सेमीकंडक्टर :

N- type सेमीकंडक्टर में डोनर इम्प्युरिटी की वजह से इलैक्ट्रॉन की संख्या बहुत अधिक होती है जो अधिक संख्या में कंडक्षन बैंड में चले जाते हैं जिससे फर्मी लेवल ऊपर की ओर कंडक्षन बैंड के पास चला जाता है।



N- Type मटेरियल में फर्मी लेवल निकालने की विधि –

$$E_F = E_C - k.T.\log (N_C / N_D)$$

E_F = Fermi level
K = Boltzmann's constant
1.38×10^{-23} joule/^oK
T = Temperature in ^oK
N_C = Number of electrons in conduction band
N_D = Concentration of donor impurity

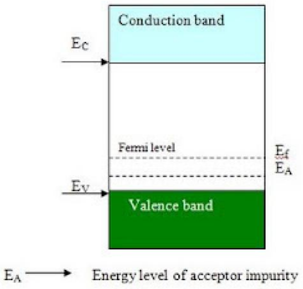
<u>फर्मी लेवल (Fermi Level) P- Type सेमी कंडक्टर</u>

P- type सेमीकंडक्टर में एक्सेप्टर इम्प्युरिटी की वजह से इलैक्ट्रॉन की संख्या बहुत कम होती है जिससे फेरमी लेवल नीचे की ओर वैलेंस बैंड के पास चला जाता है।

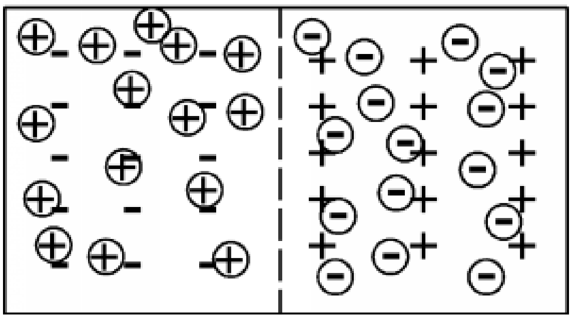
P - Type मटेरियल में फेरमी लेवल निकालने की विधि –

$$E_F = E_V + k.T.\log (N_V / N_A)$$

E_F = Fermi level
E_V = Energy level of valence band
N_A = Concentration of acceptor impurity
Nv = Number of electrons in the valence band
K = Boltzmann's constant



P N- Junction :–

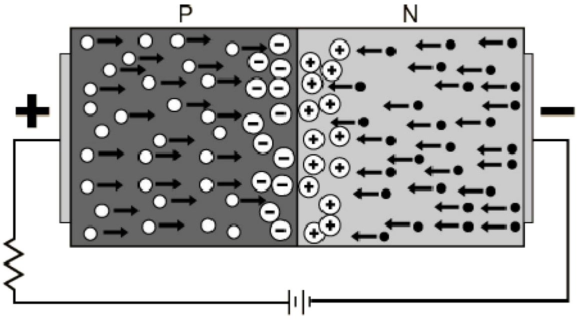


हम जान चुके है कि P-type सेमी. कंडक्टर तथा N-type सेमीकंडक्टर कैसे बनाये जाते है। अब किसी सिलिकॉन या जरमेनियम क्रिस्टल को wafer पद्वति से एक ओर डोनर इम्प्युरिटी (पेंटावेलेंट इम्प्युरिटी) तथा दूसरी ओर एक्सेप्टर इम्प्युरिटी (ट्राइवेलेन्ट इम्प्युरिटी) मिलाई जाती है उस device को PN Junction कहते है। PNJunction बनाते वक्त जरमेनियम या सिलिका. ॅन बेफर के आधे हिस्से में एक प्रकार की अषुद्धि मिलाई जाती है तथा दूसरे आधे हिस्से में दूसरे प्रकार की अषुद्धि मिलाई जाती है जिससे क्रिस्ट्रल का एक भाग P-type सेमीकंडक्टर तथा दूसरा भाग N-type सेमीकंडक्टर बन जाता है। इसे PN Junction कहते है। यह जंकसन करेंट के लिए वाल्ब की तरह कार्य करता है।

चित्र के अनुसार P-type सेमीकंडक्टर के भाग में होल्स दिखाये गये है तथा N-type सेमीकंडक्टर में इलैक्ट्रॉन दिखाये गये है।

<u>P N Junction फॉरवर्ड बायस में :–</u>

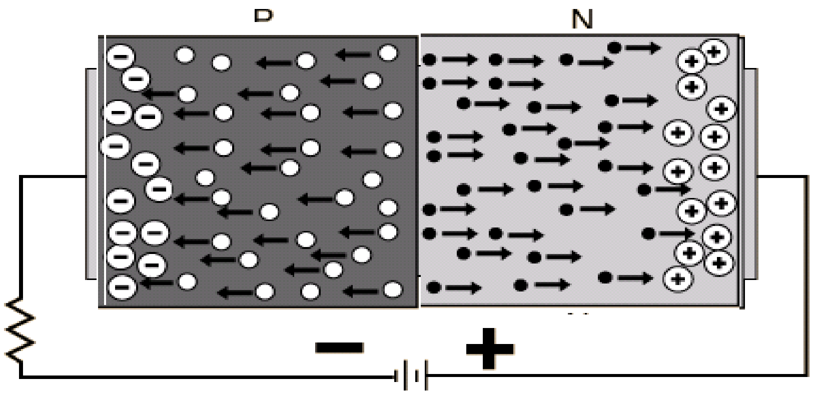
P N Junction के दोनो सिरो में से एक सिरे **'पी'** पर बैट्री का पॉजीटिव टर्मीनल तथा दूसरे सिरे **एन** पर बैट्री का निगेटिव टर्मीनल से जोड़ा गया है।



चित्र के अनुसार स्पष्ट है कि बैट्री का पॉजीटिव बल मैजोरिटी होल्स कैरियर को जंक्षन पार करने के लिए बाध्य करेगी क्योंकि पॉजीटिव पोटैंषियल पॉजीटिव होल्स को धकेलेगा और निगेटिव पोटैंषियल इलैक्ट्रॉन को धकेलेगा। बाह्य वि.वा.बल पोटैंषियल बैरियर के विपरीत है जिसके परिणाम स्वरूप PN Junction का बेरियर की डिप्लेषन घटकर इतनी पतली हो जाती है कि अब N और P भाग के होल्स तथा इलैक्ट्रॉन को जंक्षन पार करने से नहीं रोक पाता है इस प्रकार मैजोरिटी द्वारा अधिक करंट प्रवाहित होने लगता है।

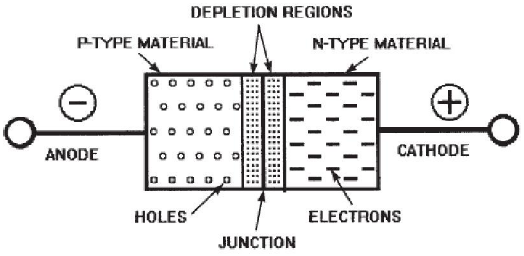
<u>P N Junction रिवर्स बायस में :–</u>

यदि PN Junction के दोनो सिरों में से एक सिरे **एन** पर बैट्री का पॉजीटिव टर्मीनल तथा दूसरे सिरे **पी** पर बैट्री का निगेटिव टर्मीनल से जोड़ा गया है।



चित्र के अनुसार स्पष्ट है कि बाह्य बैट्री के रिबर्स वोल्टेज डिपलेषन लेयर और अधिक मोटी हो जाती है। क्यों की **पी** साइड के होल बैट्री के निगेटिव पोल की ओर से प्राप्त इलेक्ट्रॉन से जुड जाते है एवं **एन**

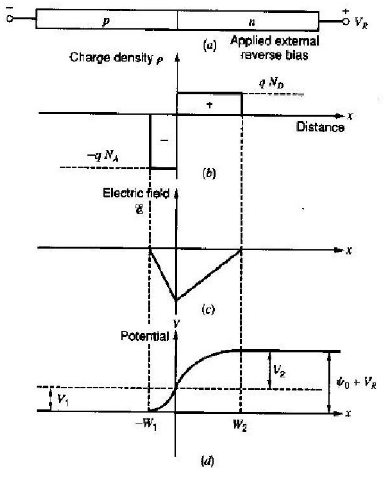
साइड के इलेक्ट्रॅान बैट्री के पोजीटिव पोल की ओर चले जाते है इससे मेजोरिटी कैरियर समाप्त हो जाते है। परन्तु थोड़ा सा करंट सर्किट में जरूर होगा क्योकि वह माइनोरिटी कैरियर के कारण होता है। इस करंट को रिवर्स करंट कहते है यहां स्पष्ट करना अच्छा होगा कि P क्षेत्र में होल्स मैजोरिटी कैरियर में होते है और इलैक्ट्रान माइनोरिटी कैरियर्स। दूसरी तरफ N क्षेत्र में होल्स माइनोरिटी कैरियर में और इलैक्ट्रान मैजोरिटी कैरियर्स में होते है रिबर्स में करंट का फ्लो माइनोरिटी कैरियर के कारण होता है जा काफी कम होता है और यह करंट स्थिर होता है PN Junction के दोनो सिरों पर बाह्य बैट्री को इस तरह लगाने से बाह्य वि.वा.बल आंतरिक बैरियर पोटैंषियल की दिषा में होने के कारण उसे बढ़ा देता है तथा जिससे जंक्षन कंडक्षन में नहीं होने की दषा में आ जाता है रिवर्स बायस कहलाता है।



डिपलेषन लेयर :–

PN Junction के एक ओर N भाग में बहुत अधिक संख्या में जो फ्री इलैक्ट्रान होते है वे मैजोरिटी कैरियर कहलाते है। तथा साथ ही कम संख्या में कुछ होल्स भी होते है जो कि माइनोरिटी कैरियर कहलाते है। इसी प्रकार जंक्षन की P भाग में बहुत अधिक संख्या में होल्स उत्पन्न होते हैं जो कि मेजोरिटी कैरियर कहलाते हैं। तथा कम संख्या में इलैक्ट्रॅान होते है जो कि माइनोरिटी कैरियर कहलाते है। माइनोरिटी कैरियर सेमीकंडक्टर के तापमान की वजह से उत्पन्न होते है जब पी एव एन प्रकार के सेमीकंडक्टर को जोडा जाता है। तब N भाग के उच्च एनर्जी वाले कुछ इलैक्ट्रान P भाग में पहुॅचकर होल्स से संयोग करके समाप्त हो जाते है। इस प्रकार जंक्षन के दोनों और एक बहुत पतली परत लगभग 1 मि.मी. मोटाई की उत्पन्न हो जाती है जिसमें इलैक्ट्रान तथा होल्स का आपस में डिपलेषन हो जाता है। इस लेयर में करेंट कण्डकसन हेतु न होल बचते न इलैक्ट्रान यह लेयर इंसूलेटर की तरह हो जाती है। इसे डिपलेषन लेयर कहते है।

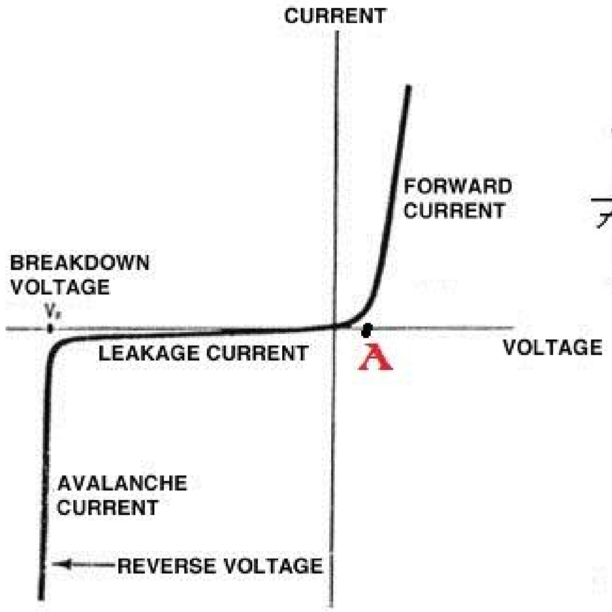
पोटेषियल बैरियर :–

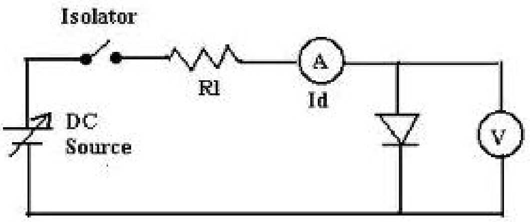


डिपलेषन लेयर में होल्स का इलैक्ट्रान्स से संयोग(डिफ्युज) करने के कारण N साइड में निगेटिव आवेष की कमी हो जाती है जिससे N साइड पॉजीटिव हो जाती है तथा डिपलेषन लेयर के P साइड में होल्स का इलैक्ट्रान्स से संयोग(डिफ्युज) होने के कारण पॉजीटिव आवेष की कमी हो जाती है जिससे डिपलेषन लेयर P साइड निगेटिव हो जाती है अतः डिपलेषन लेयर के दोनों सिरों पर एक वि.वा. बल(ई.एम.एफ.) पैदा हो जाता है जिसका पॉजीटिव टरमीनल N टाईप तथा निगेटिव टरमीनल P टाईप सेमीकंडक्टर पर जुड़ा माना जाता है यह ई.एम.एफ. इलैक्ट्रान्स को जंक्षन पार करने से रोकता है क्योंकि N भाग की पॉजटिव ध्रुवता होल्स को प्रतिकर्षित तथा P भाग की निगेटिव ध्रुवता इलैक्ट्रान्स को प्रतिकर्षित करती है। इस प्रकार इलैक्ट्रान्स तथा होल्स का जंक्षन को पार करना रूक जाता है। किसी P-N जंक्षन के दोनो ओर बनी डिपलेषन लेयर के सिरों पर वोल्टेज उत्पन्न होना पोटेषियल बैरियर कहलाता है। पोटेषियल बैरियर सिलिकान का 0.7 वोल्ट तथा जरमेनियम का 0.3 वोल्ट होता है।

P-N जंक्षन की वोल्टेज करंट V-I करेक्टेरिस्टिक :–

V-I ग्राफ बनाने के लिए सर्किट को चित्र अनुसार बनायें। डायोड पर फॉरवर्ड बायस दें। और वेरियेबिल पावर सप्लाई की सहायता से एनोड और केथोड के बीच 0 वोल्ट सैट करें अब स्टेप में वोल्टेज बढाते जाय और करंट का मान भी नोट करते जाए इस अवस्था में हर स्टेप का फॉरवर्ड रैजिस्टैंस निकालें।





इसके उपरान्त डायोड कनैक्षन उल्टा कर दें अब डायोड रिवर्स बायस की अवस्था में आ जायेगी और अब वोल्टेज स्टैपस में बढ़ाये और करंट का मान भी लिख लें। ली गई रीडिंगस के अनुसार V-I ग्राफ बनायें V-I करेक्टरीस्टिक का तीन भागों में अध्ययन किया जाता है।
1. शून्य वोल्टेज, 2. फॉरवर्ड बायस, 3. रिवर्स बायस।

1. शून्य वोल्टेज :–

जब बाहर से वोल्ट नहीं दी जाती है तब सर्किट में करंट नहीं बहेगा। इसकों बिन्दु 0 से दर्षाया गया है।

2. फॉरवर्ड बायस :–

जब P-N जंक्षन फॉरवर्ड बायस में होता है और सप्लाई वोल्टेज को धीरे धीरे बढ़ाया जाता है तो करंट बहुत कम बढ़ता है इस भाग को नान लीनियर रेजिन कहते है। आरंभ में करंट के कम बढ़ने का कारण है कि सप्लाई वोल्टेज को जंक्षन में बने पोटेषियल बैरियर को जीतना पड़ता है यह पोटेषियल बैरियर सिलिकान का 0.7 वोल्ट तथा जरमेनियम का 0.3 वोल्ट होता है। परन्तु एक बार इस वोल्टेज से पार पाने के बाद P-N जंक्षन साधारण कंडक्टर के तरह काम करने लगता है और सर्किट करंट ली. नियरली बढ़ने लगता है जिसे ग्राफ में दिखाया गया है। इस समय करंट केवल सीरिज रजिस्टेंस R से नियंत्रित होता हैं। इसके अलावा थोड़ा सा R_f फॉरवर्ड जंक्षन रैजिस्टेंस भी होता हैं।

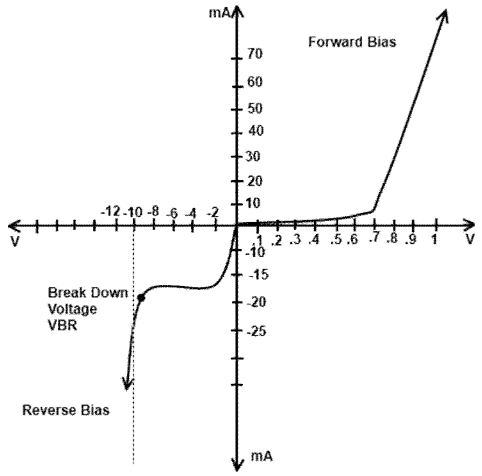
फारवर्ड वोल्टेज के प्रभाव में PN जंक्षन के जिस वोल्टेज पर करंट बहुत जल्दी से बढ़ना आरंभ करें उन वोल्टेज को नी–वोल्टेज कहते है।

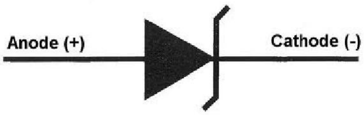
3. रिवर्स बायस :–

जब डायोड के P टाईप सेमीकंडक्टर को सप्लाई के निगेटिव टर्मिनल पर और N टाईप सेमी. कंडक्टर को पॉजीटिव टर्मिनल पर जोड़ा जाता है तब इस को रिवर्स बायस डायोड कहते है।
इस हालत में जंक्षन पर पोटेंषियल बैरीयर बढ़ जाता है इस कारण जंक्षन रैजिस्टैंस बहुत ज्यादा बढ़ जाता है। यही कारण है कि रिवर्स बाईस में बहुत ही कम करंट मिलता है जो दोनों प्रकार के सेमी. कंडक्टर में मोजूद माइनोरिटी कैरियर के कारण बहता है इस करंट को रिवर्स करंट कहते है।

P टाईप सेमी कंडक्टर में इलैक्ट्रान्स और N टाईप सेमी कंडक्टर में होल्स माइनोरिटी कैरियर होते है। इन मायनारिटी कैरियर के लिए रिवर्स बाईस फारवर्ड बाईस का काम करती है इस कारण यह रिवर्स दिषा में थोड़ा करंट बहाते है।

यहॉ सबसे अधिक महत्तवपूर्ण बात यह है कि अगर रिवर्स बायस बढ़ा दी जाये तब भी इस करंट में बहुत कम फर्क पड़ेगा। परंतु जब रिवर्स बाईस बढ़ती ही जाती है तब एक अवस्था ऐसी आती है जब इलैक्ट्रान की एनर्जी इतनी बढ़ जाती है कि सेमीकंडक्टर के बोंडस टूट जाते है और बैरियर का रैजिस्टैंस एकदम घट जाता है। इसके कारण रिवर्स करंट बहुत बढ़ जाता है अगर इसको एकदम नहीं रोका गया ता यह जंक्षन को सदा के लिए खत्म कर देगा। रिवर्स वोल्टेज जिस पर जंक्षन टूटता है ब्रेक डाऊन वोल्टेज कहलाता है।



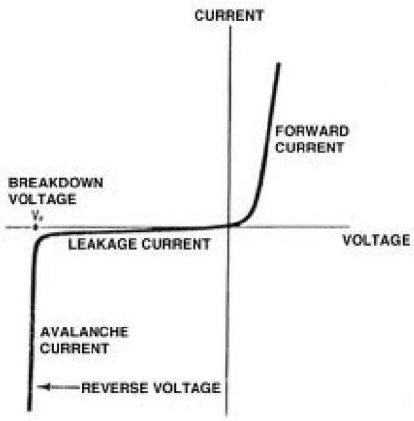


जीनर डायोड :–

जैसा कि हम पहले पढ चुके है कि डायोड का रिवर्स करंट बहुत कम होता है। जैसे जैसे वोल्टेज बढ़ती है तब एक लेबल तक पहुँचने के बाद करंट बहुत अधिक मात्रा में बहना आरंभ कर देता है। इस करंट के बढ़ने को एवेलेंच ब्रेकडाऊन कहते हैं जब यह ब्रेक डाऊन होता है उस समय वोल्टेज के अधिक होने के कारण जब माइनोरिटी कैरियर PN जंक्षन से गुजरते हैं तब उनमें इतनी शक्ती उत्पन्न हो जाती है कि एटम के अंदर कंडक्षन बेंड में इलैक्ट्रान को निकाल देते हैं। इस प्रकार यह वैले. स इलैक्ट्रान भी और अधिक शक्ति देते हैं जिससे करंट बहुत अधिक बढ़ जाता है। यह करंट निष्चित सीमा से अधिक नहीं बढ़ना चाहिए नहीं तो जंक्षन पूरी तरह खराब हो जायेगा।

इस हेतु विषेष प्रकार के डायोड बनाये जाते हैं जो ब्रेक डाऊन वोल्टेज या उससे भी अधिक वोल्टेज पर काम कर सके यह विषेष डायोड जीनर डायोड कहलाते है।

जीनर अलग अलग वोल्टेज रेटिंग में मिलती है रैक्टीफायर में अधिकतर करंट कैथोड से एनोड की और बहता है जब कि जीनर रिवर्स बायस पर काम करता है ब्रेक डाऊन के बाद इसमें करंट एनोड से कैथोड की और बहता है। जीनर के करेक्टेरिस्टिक चित्र में दिखया गया है 4 वोल्ट से नीचे के वोल्टेज ब्रेकडाऊन में जीनर प्रभाव का असर रहता है और 6 वोल्ट से ऊपर एवेलेंच का 4 वोल्ट से 6 वोल्ट तक दोनो प्रभाव काम करते है असल में 6 V से ऊपर की डायोड ब्रेक डाऊन डायोड कहना चाहिए परंतु जिन डायोड के तीखे करेक्टेरिस्टिक है उन सबको जीनर ही नाम दिया गया है अगर एप्लाईड रिवर्स वोल्टेज ब्रेकडाऊन वोल्टेज से अधिक हो जाती है तब जीनर डायोड स्थिर वोल्टेज स्त्रोत का काम करती है इस. लिए इसको वोल्टेज रैफरैंस डायोड भी कहते है।

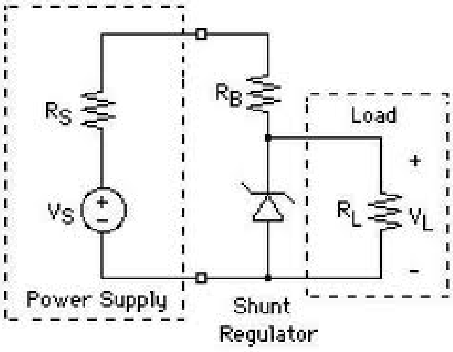


जीनर डायोड के संबंध में मुख्य बातें –

1. जीनर डायोड केवल रिवर्स बायस पर ही उपयोगी होता हैं।
2. फॉरवर्ड बायस पर यह साधारण डायोड की तरह काम करता है।
3. सही डोपिंग करने पर जीनर डायोड के ब्रेकडाऊन वोल्टेज बहुत शार्प हो जाती है।
4. इन शार्प ब्रेकडाऊन वोल्टेज को जीनर वोल्टेज कहते है।

जीनर वोल्टेज रेगुलेटर :–

जीनर की विषेषता है वोल्टेज को रेगूलेट करना। इसलिए इसका उपयोग डीसी वोल्टेज रेगुलेटर सर्किट में होता है। इलेक्ट्रॅानिक सर्किट में स्थिर डी.सी. वोल्ट की आवष्यकता होती है नही तो यह सुचारू रूपसे कार्य नहीं करते अतः स्थिर सप्लाई जीनर डायोड की सहायता से ही बनाई जाती है।



जब स्थिर डी.सी. के स्थान पर बढ़ी हुई डी.सी. को सर्किट के इनपुट पर दिया जाता है तब इस सर्किट में जीनर के सीरीज में रैजिस्टेंस लगाकर वोल्टेज दिये जाते है। रैजिस्टेंस काफी मात्रा में करंट आगे जाने देता है जिससे डायोड अपने जीनर क्षेत्र में काम कर सके यह सर्किट उसी अवस्था में सुचारू रूप से कार्य करता है जब इन पुट वोल्टेज जीनर डायोड के ब्रेकडाऊन वोल्टेज से अधिक होगा इस अवस्था में जीनर डायोड के आर पार वोल्टेज जीनर वोल्टेज के रेटिंग के बराबर होगी और अधिक वोल्टेज सीरीज रैजिस्टेंस में ड्राप हो जावेगी।

अ)– मान ले कि इनपुट में वोल्टेज बढ़ गई है जब वोल्टेज बढ़ता है तब जीनर ब्रेकडाऊन क्षेत्र से आगे आ जाता है। इस समय रैजिस्टर R में करंट बहेगा। और उसमें वोल्टेज ड्राप भी बढ़ेगी अतः इनपुट वोल्टेज जो जीनर वोल्टेज V_Z (i.e., V_{in}-V_z) से अधिक होगी अनको सीरिज रैजिस्टर खर्च कर लेता है इस प्रकार R_L में वोल्टेज स्थिर रहतें है।

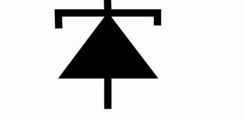
ब)– अब मान लें कि इनपुट वोल्टेज तो स्थिर है परंतु R_L के मान में कमी आने से लोड करंट बढ़ जाता है तो यह अधिक करंट जीनर से नहीं आ सकता इसका कारण है सीरीज रैजिस्टर R के वोल्टेज में बदलाव नहीं आवेगा क्योंकि जीनर अपने रेगुलेटिंग सर्किट के अंदर है अतः यह अधिक करंट जीनर करंट I_Z में कमी करके मिलेगा इसलिए आऊटपुट वोल्टेज स्थिर रहेगी।

R Voltage = $E_M - E_O$

R Current= $I_Z + I_L$

ओहम के नियमानुसार – $R_L = (E_M - E_O) \div (I_Z + I_L)$

टनल डायोड :–

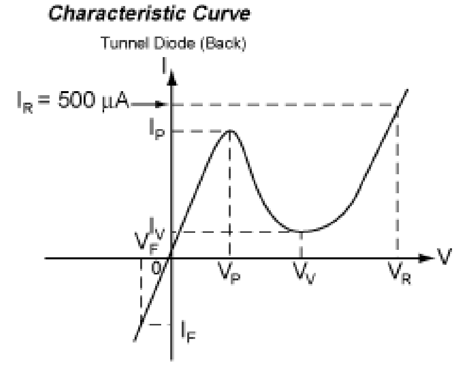


tunnel diode symbol

टनल डायोड के आविष्कारक का नाम Esaki था इसलिए इसको Esaki डायोड भी कहा जाता है। एक छोटा PN जंक्षन जिसमें दोनों P और N टाइप सेमी कंडक्टर में बहुत अधिक अषुद्धियॉं होती है टनल डायोड कहलाता है। इसको बनाने में जरमेनियम,सिलिकॉन,गेलियम, तथा गेलियम आर्सेनाइड आदि का इस्तेमाल किया जाता है डायोड के हर भाग में ज्यादा मात्रा में अषुद्धियॉं मिलाई जाती है। जिससे उसकी रिवर्स ब्रेकडाऊन वोल्टेज शून्य वोल्टेज पाइंट तक पहुॅंच जाये इस में बहुत कम बैरियर क्षेत्र बनता है। इस हालत में इलैक्ट्रोन को हाई ताकत फील्ड द्वारा जंक्षन को पार कराया जाता है यह कार्य बहुत ही कम समय में हो जाता है।

सेमीकंडक्टर से बना वह PN जंक्षन डायोड है जिसका जंक्षन अत्यंत संकरा तथा P और N क्रिस्टल का डोपिंग बहुत अधिक होता है जिसके कारण टनल डायोड नेगेटिव रैजिस्टेंस का गुण प्रदर्षित करता है। इस डायोड को फारवर्ड दिषा में दी गई बायस को धीरे धीरे बढ़ाने पर प्रारम्भ में अधिक करंट प्रवाहित करता है बाद में घट कर नगण्य हो जाती है। तथा बायस और अधिक बढ़ने पर पुनः बढ़ने लगती है। टनल डायोड को नेगेटिव बायस देने पर यह निगेटिव रजिस्टेंस का गुण प्रदर्षित नहीं करता है। टनल डायोड का उपयोग उच्च फ्रिक्वैंसी पर एम्पलीफायर, गेट सर्किट तथा आसीलेटर के सर्किट में उपयोग किया जाता है।

<u>करेक्टेरिस्टिक :</u>
एक साधारण डायोड रिवर्स बायस पर कार्य नहीं करती जब तक ब्रेकडाऊन वोल्टेज का स्तर न आ जाए दूसरी ओर फॉरवर्ड बायस 300 mv पर कार्य करने लग जाती है। टनल डायोड के V/I करेक्टेरिस्टिक को चित्र में दिखाया गया है–



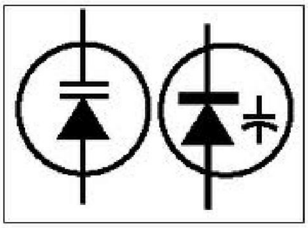
इलैक्ट्रोन्स को जंक्षन पर टनल बनाने के लिए बहुत कम रिवर्स बायस ही काफी है। यही कारण है रिर्वस बायस के हर मान पर टनल डायोड अधिक कंडक्षन करती है इसी तरह कम फॉरवर्ड बायस पर ही इलैक्ट्रोन टनल बना कर जंक्षन पार कर लेंगे थोड़े से फॉरवर्ड बढ़ते ही डायोड करंट बहुत अधिक बढ़ जाता है जब तक अधिकतम पीक वैल्यू I_p पर नहीं पहुॅच जाता है तब फॉरवर्ड बायस इससे अधिक होती है तब डायोड करंट एकदम घट जाता है। और न्यूनतम मान पर पहुॅचता हैं जब वोल्टेज V_V पर पहुॅच जाते हैं इससे आगे वोल्टेज बढ़ने पर डायोड साधारण डायोड की तरह काम करने लगती है।

<u>**नैगेटिव रैजिस्टैंस :**</u> जब वोल्टेज बढ़ने पर करंट घटे और वोल्टेज के घटने पर करंट बढ़े इस अवस्था को निगेटिव रैजिस्टेंस कहते है। चित्र में वोल्टेज बढ़ने पर घटता कर्व का स्लोप इसको दर्षाता है। टनल डायोड की निगेटिव रजिस्टेंस विषेषता इसको ओसीलेटर एम्पलीफायर और स्विच के प्रयोग के लिए योग्य बनाती है।

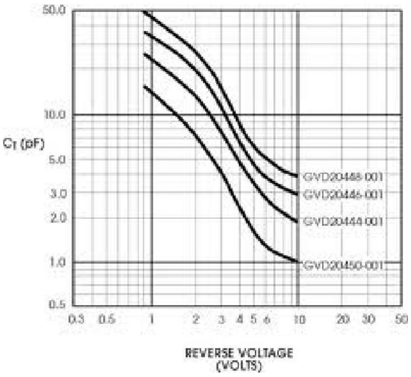
लाभ :–

1. क्योकि इलैक्ट्रिकल चार्ज जंक्षन के पार लगभग रोषनी की गति से जाते है इसलिए टनल डायोड बहुत अधिक फ्रिक्वेंसी (5000 Mhz) पर अच्छी तरह कार्य कर सकती है।
2. कम्प्यूटर तथा दूसरे कंट्रोल सर्किट में टनल डायोड स्विच के रूप ट्राजिंस्टर से कई सौ गुणा तेज गति से काम कर सकती है।
3. टनल डायोड युक्त ओसीलेटर सस्ते होते है।
4. टनल डायोड 650^0F तापक्रम पर काम कर सकते हैं जहॉ सिलिकॉन डायोड 400^0F और जरमे. नियम डायोड केवल 200^0F।
5. टनल डायोड की बनावट आसान होने के कारण इनको बहुत लघु आकार में बनाया जा सकता है।

वैरेक्टर (Varactor) डायोड :–



वैरेक्टर डायोड को वेरीकेप डायोड भी कहते है। इसका उपयोग वेरियेबल केपेसिटर के स्थान पर किया जाता है। अब तक किसी सर्किट की फ्रिक्वैंसी को बदलने के लिए कैपेसिटर को वेरी करना पड़ता था। वेरेवियल केपेसिटर आकार में बड़े नाजुक और बहुत कीमती होते हैं। वैरेक्टर डायोड का कैपेसिटेंस वोल्टेज से नियंत्रित होता है। इस डायोड के कैपेसिटेंस का प्रभाव चित्र में दिखाया गया है वैसे तो आप कैपेसिटर के विषय में अच्छी प्रकार से जानते होंगे परन्तु हम एक बार थोड़ा सा उसके बारें में आपको बता देते हैं। कैपेसिटर दो कंडक्टर का संगठन है जो एक डाइलैक्ट्रिक द्वारा पृथक किए गए हों और जो कुछ समय के लिए चार्ज ग्रहण कर सके। इसके साथ यह बताना आवष्यक है कि कैपेसिटर की केपेसिटी प्लेट एरिया के साथ साथ प्लेटों की दूरी पर निर्भर करती है। यह प्लेटों की दूरी के व्युत्क्रमानुपाती होती है अर्थात जब प्लेटों की दूरी कम होगी तो कैपेसिटैंस अधिक होगा।



वेरेक्टर डायोड के जंक्षन पर कैपेसिटैंस इसके जंक्षन पर बनी डिप्लैक्षन लेयर की मोटाई पर निर्भर करता है वह डाइलैक्ट्रिक का काम करती है और N और P टाईप सेमी कंडक्टर दो प्लेट का काम करती है डिप्लेषन रीजन रिवर्स बायस के साथ बढ़ता है अतः जब यह बढ़ता है उस समय दो प्लेटों की दूरी अधिक हो जाती है और डायोड का जंक्षन कैपेसिटैंस कम हो जाता हैं। इस प्रकार हम इस नतीजे पर पहुॅचते हैं कि इस डायोड का कैपेसिटैंस इसके ऊपर लागू किये गये रिवर्स वोल्टेज के साथ साथ घटता और बढ़ता है।

दूसरे शब्दो में कहे तो यह सेमीकंडक्टर से बना PN जंक्षन डायोड है जो रिवर्स बायस की दषा में कैपेसिटर जैसा कार्य करता है इसके बायस वोल्टेज को परिवर्तित करने पर जंक्षन पर बना डिप्लीषन क्षेत्र भी परिवर्तित होता है। अतः इसका कैपेसिटैंस भी परिवर्तित हो जाता है इस प्रकार यह वैरियेबिल कैपेसिटर का कार्य करता है इसका उपयोग रेडियो फ्रिक्वैंसी ट्यूनिंग सर्किट्स में किया जाता है। वैरेक्टर डायोड का सबसे बड़ा लाभ यह है कि मूबिंग पार्ट नहीं होता है।

सही या गलत चुनिये :–

1. जंक्षन डायोड में केवल माइनोरिटी कैरियर ही बनते हैं।
2. डिप्लीषन क्षेत्र इलैक्ट्रोंस के P तरफ के जंक्षन को पार करने से बनता है।
3. पोटैंषियल बैरियर सारे के सारे इलैक्ट्रोन्स को जंक्षन पार करके होल्स को भरने से रोकता है।
4. डिप्लेषन क्षेत्र अच्छा कंडक्टर है।
5. फॉरवर्ड बायस डिप्लेषन क्षेत्र को बढ़ाता है।
6. रिवर्स बायस के लागू होने पर डायोड में माइनोरिटी कैरियर के कारण थोड़ा सा लीकेज करंट होता है।
7. अधिक तापक्रम में डायोड में लीकेज करंट को बढ़ा देता है।
8. एक जीनर डायोड रिवर्स बायस में आपरेट होता है।
9. एक्सट्रिन्सिक सेमीकंडक्टर एक इंसूलेटर की तरह कार्य करता है।
10. डायोड में बाई डाइनेक्षनल करंट प्रवाहित होता है।

उत्तर : 1. गलत,2.गलत,3.सही,4. सही, 5.गलत 6.सही, 7.सही, 8. सही 9.गलत 10. गलत

–: ट्रांजिस्टर :–

तीन अमेरिकन वैज्ञानिक Johan Bardeen, Walter Brattian और William Shockly BEL प्रयोगषाला में ठोस पदार्थो की विषेषताओं का अध्ययन कर रहे थे तब इन्हौने यह पता लगाया गया कि वैक्यूम टयूब जैसा एम्पलीफिकेषन ठोस पदार्थ के उपयोग से भी संभव है। इससे पहले एम्पलीफिकेषन केवल वैक्युम ट्यूबों में हो सकता था। ट्रांजिस्टर सन 1948 में अस्तित्व में आया और इस आविष्कार ने इलैक्ट्रॅानिक्स के संसार में क्रांति ला दी।

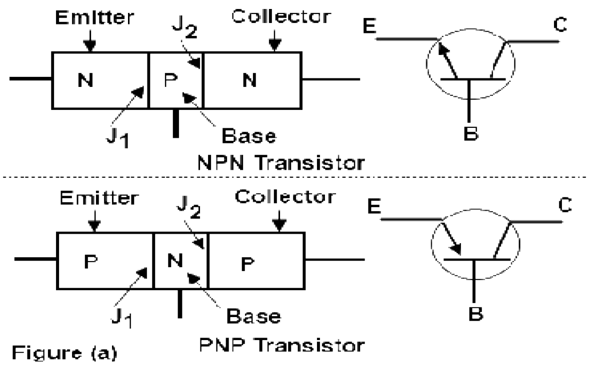


Figure (a)

ट्रांजिस्टर जिन दो शब्दो के संयोग से मिलकर बना है वह Transfer of Resister है अर्थात् प्रतिरोध का स्थान्तरण। ट्रांजिस्टर में ट्रायोड वैक्यूम टयूब की तरह तीन इलैक्ट्रोड होते हैं।

1. उत्सर्जक या एमीटर,
2. बेस,
3. संग्राहक या कलैक्टर

बाईपोलर ट्रांजिस्टर –

PN जंक्षन के साथ लैफ्ट में यदि N टाइप जरमेनियम की परत को जोड़ा जाता है तब NPN जंक्षन का निर्माण होता है तथा यदि PN जंक्षन के साथ राइट मे यदि P टाइप जरमेनियम की परत को जोड़ा जाता है तब PNP जंक्शन का निर्माण होता है। यह दोनों ही ट्रांजिस्टर NPN तथा PNP को बाईपोलर ट्रांजिस्टर के नाम से जाना जाता है। ट्रांजिस्टर के मध्य भाग में बेस तथा एक ओर का बाह्य भाग कलैक्टर तथा दूसरी ओर का बाह्य भाग एमीटर कहलाता है। जंक्षन ट्रांजिस्टर में हमेषा दो जंक्षन होते हैं। NPN ट्रांजिस्टर को एम्पलीफायर की तरह प्रयोग करने के लिए एमीटर तथा बेस जंक्षन को फॉरवर्ड बायस वोल्टेज पर तथा बेस कलैक्टर जंक्षन को रिर्वस बायस वोल्टेज पर रखा जाता है।

1. उत्सर्जक या एमीटर :–

इस भाग का मुख्य कार्य बेस को मेजोरिटी चार्ज कैरियर NPN ट्रांजिस्टर में इलैक्ट्रोन तथा PNP में होल सप्लाई करना होता है। एमीटर को E अक्षर से प्रदर्षित करते है।

2. बेस :–

बेस ट्रांजिस्टर का मध्य भाग में स्थित होता है। इसकी चौडाई एमीटर तथा कलैक्टर की अपेक्षा बहुत कम (10^{-8} Mtr.) होती है। यह कम डोपिंग वाला क्षेत्र होता है। बेस जिन चार्ज कैरियर्स (इलैक्ट्रॅान या होल) को एमीटर से प्राप्त करता है उनमें से अधिकांष को कलैक्टर को जाने देता है। बेस को B अक्षर से प्रदर्षित करते हैं।

3. संग्राहक या कलैक्टर :–

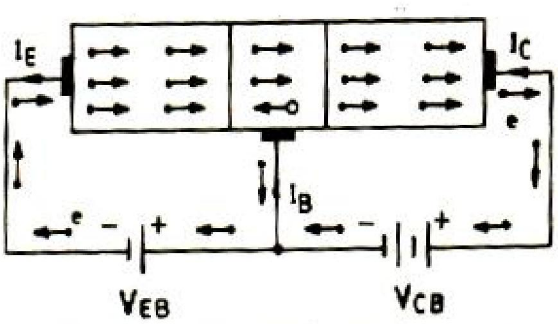
यह ट्राजिंस्टर के दाहिने ओर का भाग होता है इसका मुख्य कार्य बेस के अधिकांष मेजोरिटी चार्ज कैरियर्स को ग्रहण करना होता है कलैक्टर का यह भाग एमीटर की तुलना में साइज में बड़ा होता है क्योंकि उसे अधिक तापमान वहन करनी होती है। इस कारण ट्रांजिस्टर को सर्किट में कलैक्टर को एमीटर बनाने की संभावना नहीं होती है इसे C अक्षर से प्रदर्षित करते है।

ट्रांजिस्टर के जंकषन :–

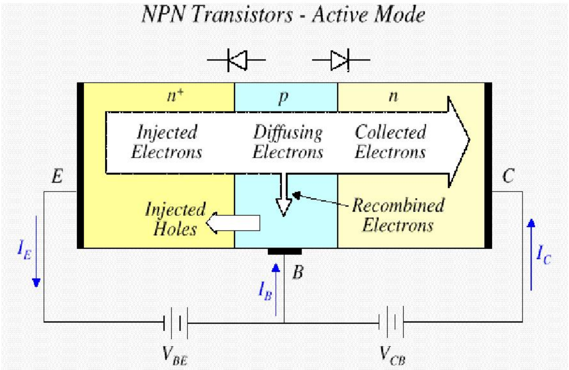
बिना बायस के ट्राजिंस्टर में दो PN जंक्षन बनते हैं फ्री इलैक्ट्रान जंक्षन पर डिफ्यूज हो जाते है और डिप्लेषन क्षेत्र बनाते हैं यहॉ दो डिप्लेषन क्षेत्र बनते है इन दोनो पर 25^0 तापक्रम में 0.7 वा. ल्ट सिलिकान और 0.3 वोल्ट जरमेनियम ट्रांजिस्टर में पोटेंषियल बैरियर बनता है। इन दोनों क्षेत्रो की चौड़ाई में अंतर होता है क्योंकि ट्रांजिस्टर के तीनो क्षेत्रों में अषुद्धियों की मात्रा अलग अलग होती है। जिस क्षेत्र में अषुद्धियॉ अधिक होगी उसमें जंक्षन के पास ऑयन् ज्यादा इकट्ठे होगें इससे डिप्लेषन क्षेत्र थोड़ा सा एमीटर की ओर बढ़ जायेगा क्योंकि यह ज्यादा डोप्ड होता है। अतः एमीटर क्षेत्र में बनने वाले डिप्लेषन क्षेत्र छोटे होगे इसके विपरीत कलैक्टर क्षेत्र का डिप्लेषन क्षेत्र बड़ा होगा।

<u>NPN ट्रांजिस्टर की कार्य विधि तथा बायसिंग</u> :–

NPN ट्राजिंस्टर का बायसिंग सर्किट निम्न चित्र में दर्षाया गया है जिसमें एमीटर को बैटरी के निगेटिव सिरे से तथा कलैक्टर को बैटरी के पॉजिटिव सिरे से जोड़ दिया जाता है। बेस को कलैक्टर की अपेक्षा काफी कम पॉजीटिव पौटेषिंयल पर रखा जाता है। एमीटर निगेटिव चार्ज को एमीटर जंक्षन की ओर प्रतिकर्षित करता है। बेस क्षेत्र का P टाईप पदार्थ स्वाभाविक रूप से एमीटर द्वारा प्रतिकर्षित फ्री इलैक्ट्रान को आकर्षित कर लेता है कुछ इलैक्ट्रान बेस क्षेत्र में होल्स के साथ संयुक्त हो जाते है परन्तु अधिकांष फ्री इलैक्ट्रान को कलैक्टर का मजबूत पॉजीटिव क्षेत्र अपनी ओर आकर्षित कर लेता है। इस प्रकार फ्री इलैक्ट्रान एमीटर क्षेत्र से चलकर एमीटर बेस जंक्षन को पार कर बेस क्षेत्र में तथा बेस कलैक्टर जंक्षन को पार कर कलैक्टर क्षेत्र में पहुॅच जाते है।



Basic Connections of n-p-n Transistor



NPN ट्राजिंस्टर की बायसिंग से स्पष्ट किया गया है कि NPN ट्राजिंस्टर सर्किट में करंट का प्रवाह फ्री इलैक्ट्रान के द्वारा होता है। एमीटर से चलकर कलैक्टर पर पहुॅचने वाले फ्री इलैक्ट्रान की संख्या का कंट्रोल बहुत कम मान की बेस बायसिंग द्वारा होता है तथा इसी गुण के आधार पर ट्राजिंस्टर का उपयोग एम्पलीफिकेषन आदि कार्यो के लिए किया जाता है NPN ट्राजिंस्टर की कार्य प्रणाली तथा फ्री इलैक्ट्रान के प्रवाह की दिषा ट्रायोड वाल्व के ठीक अनुरूप होती है।

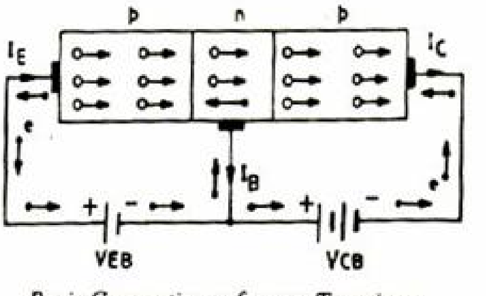
<u>PNP ट्रांजिस्टर की कार्य विधि तथा बायसिंग :–</u>

इसमें बेस की तुलना में एमीटर पाजीटिव रखा जाता है। यह एमीटरबेस जंकषन की फॉरवर्ड बायस की स्थिति हैं। इस अवस्था में बाह्य बैट्री आंतरिक पोटेंषियल बैरियर का विरोध करती है। जंक्षन के अंदर से करंट P टाईप एमीटर के मैजोरिटी कैरियर होल्स द्वारा पैदा किया जाता है यह इसलिए होता है क्योंकि होल्स बैट्री के पॉजीटिव वोल्टेज टर्मिनल द्वारा धकेले जाते है।

बेस की तुलना में एमीटर में अषुद्धियॉं अधिक एकत्रित की जाती है इसलिए एमीटर बेस करंट में इलैक्ट्रानों की तुलना में होल्स बहुत अधिक हो जाते है। अतः एमीटर बेस जंक्षन में करंट होल्स द्वारा प्रवाहित होता हैं। यह होल्स पतली बेस सतह में ट्रांजिस्टर एक्षन द्वारा प्रबेष कराये जाते हैं डिफ्यूजन क्रिया के कारण अधिकतर होल्स बेस क्षेत्र को पार कर जाते हैं। और ज्यों ही वह कलैक्टर बेस क्षेत्र के पास पहुॅंचते हैं कलैक्टर के द्वारा एकत्रित कर लिये जाते है। ऐसा कलैक्टर क्षेत्र पर रिवर्स बायस लगी होने के कारण होता है इस प्रकार 95% से भी अधिक होल्स कलैक्टर तक पहुॅंच जाते हैं। इसलिए कलैक्टर करंट लगभग एमीटर करंट के बराबर ही होता है। कलैक्टर करंट I_C कलैक्टर वोल्टेज पर बिल्कुल निर्भर नहीं करता यदि कलैक्टर वोल्टेज काफी अधिक भी हो जाते है तो भी कलैक्टर करंट Ic में कोई परिवर्तन नहीं होता इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि ट्रांजिस्टर का आऊटपुट रैजिस्टैंस बहुत अधिक होता हैं यह रैंजिस्टैंस कई मेगा ओह्म में होता हैं।

ट्रांजिस्टर के कान्फीगुरेषन एवं करेक्टेरिस्टिक :–

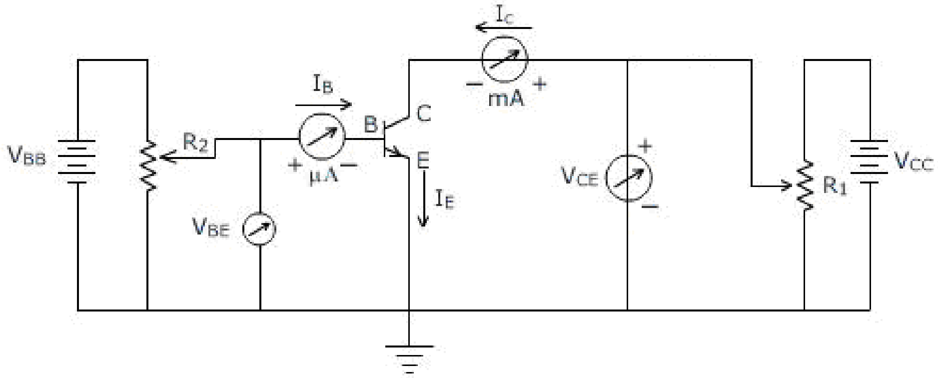
ट्रांजिस्टर के तीन भाग होते है जिन्हे एमीटर, बेस और कलैक्टर कहते है। इन पिनों को सर्किट में जोड़ने के लिए किसी एक सिरे को अर्थ से जोड़कर दोनो सिरों के मध्य कॉमन बना देते है। किसी ट्रांजिस्टर को विद्युतीय सर्किट में जोड़ने की तीन विधियॉं प्रयोग में लाई जाती है



Basic Connections of p-n-p Transistor

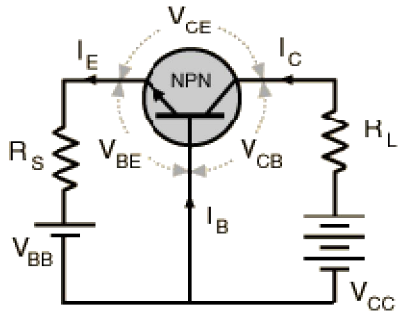
1.कॉमन बेस
2.कॉमन एमीटर
3.कॉमन कलैक्टर

किसी ट्रान्जिस्टर को विद्युतीय सर्किट में जोड़ने के लिए दो सिरे इनपुट के लिये तथा दो आऊटपुट के लिये होने चाहिये परन्तु ट्रांजिस्टर के केस से केवल तीन सिरे ही बाहर निकले होते है। अतः ट्रांजिस्टर के किसी एक सिरे को इनपुट तथा आउटपुट एवं तीसरे को दोनों के मध्य कॉमन बना देते है इस प्रकार वर्णित तीनो विधियों में ट्रांजिस्टर का कोई एक सिरा (बेस,एमीटर,कलैक्टर) इनपुट तथा आउटपुट दोनों के लिये कॉमन रहता है।



Circuit for obtaining the characteristics of a npn transistor

<u>कॉमन बेस (CB) कानफिगुरेषन सर्किट :–</u>



वह एम्पलीफायर सर्किट जिसमें बेस को अर्थ किया जाता है, एमीटर पर इनपुट सिग्नल दिया जाता है। इसमें बेस इनपुट तथा आउटपुट दोनों कॉमन रहता है इसे ग्राउन्डेड बेस एम्पलीफायर भी कहते है।
इस एम्पलीफायर में इनपुट तथा आऊटपुट सिग्नल्स समान फेज में होते हैं। इसका इनपुट इंपीडेंस बहुत अधिक (1से 2 मेगा ओम) होता है। इस एम्पलीफायर का करंट गेन निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है, जो 1 से कुछ कम (लगभग 0.98) होता है।

$$\text{करंट गेन } (\alpha) = \frac{Ic}{Ie}$$

जहॉ α = कॉमन बेस सर्किट का करंट गेन
I_c = ट्रांजिस्टर की कलैक्टर करेंट,
I_e = ट्रांजिस्टर की एमीटर करेंट,

Alpha (α) – किसी ट्रांजिस्टर की कलैक्टर करेंट और एमीटर करेंट के अनुपात को उस ट्रांजिस्टर का Alpha (α) कहते है।
इस सर्किट का वोल्टेज गेन निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है, जो कि अधिक (लगभग 196) होता है।

Voltage Gain	=	$\frac{Ic}{Ie}$	–	$\frac{R_L}{R_{IN}}$	=	α	X	$\frac{R_L}{R_{IN}}$

I_c = ट्रांजिस्टर की कलैक्टर करेंट,
I_e = ट्रांजिस्टर की एमीटर करेंट, उ।में
R_L = लोड रजिस्टेंस का मान, ओम्ह्स
R_{IN} = सर्किट के इनपुट पर प्रयुक्त रेजिस्टेंस का मान, ओम्ह्स

कॉमन बेस एम्पलीफायर सर्किट का करंट गेन एक से कुछ कम तथा वोल्टेज गेन तथा पॉवर गेन अधिक होते है। इसका इनपुट इम्पीडेंस बहुत अधिक होता है। अतः इस सर्किट का प्रयोग

एम्पलीफीकेषन के लिए नहीं किया जाता है। इसका प्रयोग एम्पलीफायर सर्किट्स में इम्पीडेंस मैचिंग के लिए किया जाता है।

इस सर्किट का पावर गेन निम्न सूत्र से ज्ञात किया जाता है जो कि लगभग 192 होता है।

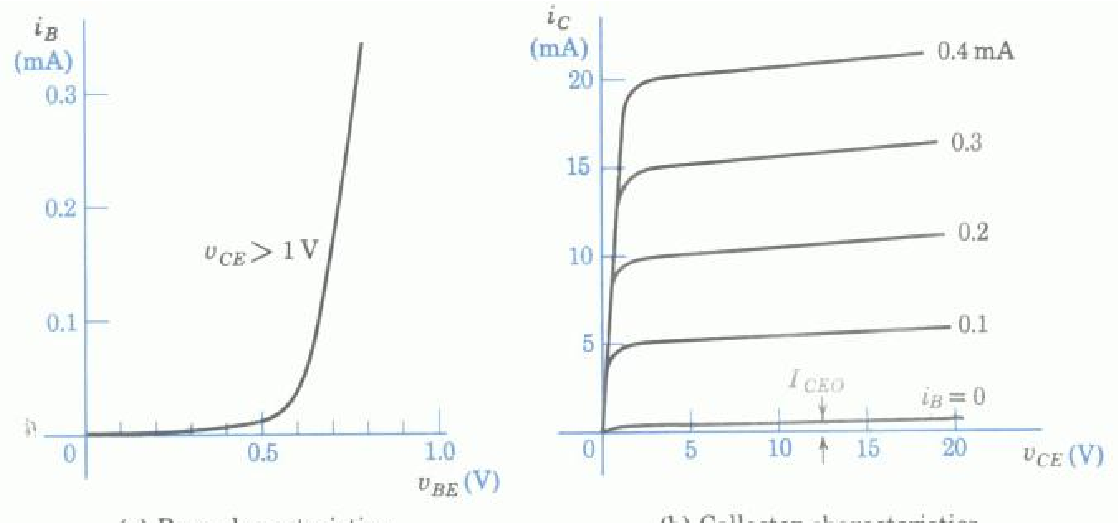
Power Gain = Current Gain x Voltage Gain

$$\text{Power Gain} = \frac{I_c^2}{I_e^2} \times \frac{R_L}{R_{IN}} = \alpha^2 \times \frac{R_L}{R_{IN}}$$

I_c	= ट्रांजिस्टर की कलैक्टर करंट.
I_e	= ट्रांजिस्टर की एमीटर करंट.
R_L	= लोड रजिस्टेंस का मान. ओम्हस
R_{IN}	= सर्किट के इनपुट पर प्रयुक्त रेजिस्टेंस का मान. ओम्हस

<u>कॉमन बेस ट्रांजिस्टर के करेक्टेरिस्टिक :–</u>

किसी कॉमन बेस ट्रांजिस्टर में एमीटर current I_E तथा एमीटर बेस के मध्य वोल्टेज V_{EB} कलैक्टर current I_C तथा कलैक्टर बेस के मध्य वोल्टेज V_{CB} इन चारों के वोल्टेज/करंट परिवत. र्नषील होते है। इन चारो वोल्टेज/करंट में से किन्ही दो के मध्य खीचें गये ग्राफ को ट्रांजिस्टर की कॉमन बेस करेक्टेरिस्टिक कहते है। क्योकि इस प्रकार के ट्रांजिस्टर में इनपुट एमीटर सर्किट में लगाया जाता है। अतः एमीटर करंट I_E तथा एमीटर बेस के मध्य वोल्टेज V_{EB} के मध्य खींचा गया ग्राफ इनपुट करेक्टेरिस्टिक कहलाता है। इसी प्रकार कलैक्टर करंट I_C तथा कलैक्टर व बेस के मध्य वोल्टेज V_{CB} के मध्य खीचे गये ग्राफ को आउटपुट करेक्टेरिस्टिक कहते है।



(a) Base characteristics (b) Collector characteristics

<u>कॉमन बेस इनपुट करेक्टेरिस्टिक :–</u>

इनपुट करेक्टेरिस्टिक का ग्राफ खीचने के लिए हमें नियत कलैक्टर बेस वोल्टेज (V_{CB}) पर एमीटर करंट (I_E) तथा एमीटर व बेस के मध्य वोल्टेज (V_{EB}) के मध्य ग्राफ खींचना होगा। कलैक्टर व बेस के मध्य विभिन्न वोल्टेज लगायी जाती है तथा एमीटर करंट के मान ज्ञात करते जाते है। नियत कलैक्टर बेस वोल्टेज (V_{CB}) के लिए एमीटर बेस वोल्टेज (V_{EB}) तथा एमीटर करंट (I_E) के लिए प्राप्त मानों के मध्य ग्राफ खींच कर उस नियत कलैक्टर बेस वोल्टेज (V_{CB}) पर इनपुट करेक्टेरिस्टिक प्राप्त कर लेते है।

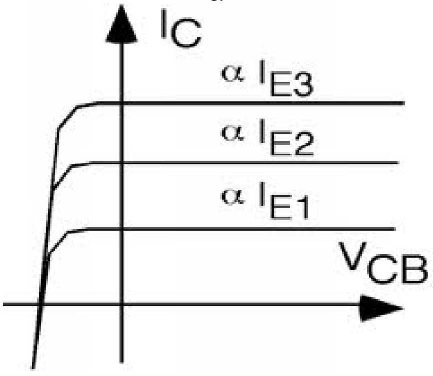
ट्रांजिस्टर के इनपुट करेक्टेरिस्टिक से ट्रांजिस्टर का डायनेमिक इनपुट रजिस्टेंस ज्ञात किया जा सकता है।

ट्रांजिस्टर का डायनेमिक इनपुट रजिस्टेंस	=	r_i	-	$\frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E}$	जबकि V_{CB} नियत है।

कॉमन बेस ट्रांजिस्टर के लिये डायनेमिक इनपुट रजिस्टेंस r_i का मान बहुत कम लगभग 20 से 100 ओह्म होता है।

<u>कॉमन बेस आउटपुट करेक्टेरिस्टिक :–</u>

फिक्स एमीटर करंट के लिये कलैक्टर करंट तथा कलैक्टर बेस वोल्टेज (V_{CB}) के मध्य खीचें गये ग्राफ को आउटपुट करेक्टेरिस्टिक खीचनें के लिए चित्र में दिखाऐ अनुसार सप्लाई के वोल्टेज डिवाइडर R_1 द्वारा एमीटर करंट I_E का मान निष्चित कर देते है। अब आउटपुट सर्किट में कलैक्टर तथा बेस के मध्य पोटैषियंल डिवाइडर R_2 द्वारा (V_{CB}) का मान बदलते जाते हैं एवं प्रत्येक दषा में मिलीएम्पीयर मीटर द्वारा कलैक्टर करंट का मान ज्ञात करते जाते हैं। एमीटर करंट के निष्चित मान के लिए कलैक्टर बेस वोल्टेज (V_{CB}) तथा कलैक्टर करंट (I_C) के मध्य खीचा गया ग्राफ उस एमीटर करंट के लिए ट्रांजिस्टर का आउटपुट करेक्टेरिस्टिक कहलाता है। इसी प्रकार एमीटर करंट I_E का कोई अन्य फिक्स सप्लाई लेकर दूसरा करेक्टेरिस्टिक खीचा जाता है।



उदाहरण:– कॉमन बेस कॉनफिगुरेशन करंट एम्पलीफिकेशन फैक्टर(α) 0.98 यदि एमीटर करंट 1mA है तब बेस करंट कितना होगा ?

हल: $\alpha = 0.98$, $Ie = 1mA$ $\alpha = Ic/Ie$

या $Ic = \alpha.Ie$

$= 0.98x1 = 0.98mA$

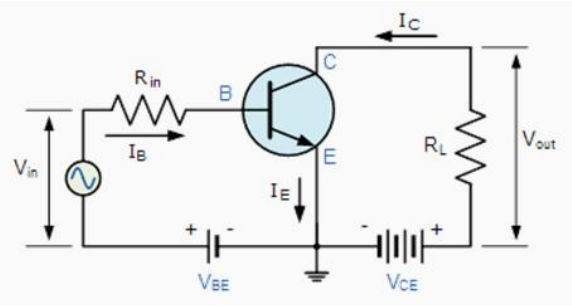
अब $Ie = Ic+IB$

या $IB = Ie - Ic$

$= 1-0.98 = 0.02$ mA

<u>कॉमन एमीटर कोनफिगुरेषन सर्किट :–</u>

वह एम्लीफायर सर्किट जिस में एमीटर को अर्थ कर दिया जाता है, इनपुट सिग्नल बेस पर दिया जाता है तथा आउटपुट सिग्नल कलैक्टर से प्राप्त किया जाता है कॉमन एमीटर एम्पलीफायर सर्किट कहलाता है इसे ग्राउन्डेड एमीटर एम्पलीफायर सर्किट भी कहते है इस सर्किट के इनपुट तथा आउटपुट सिग्नल्स में 180^0 का फेज डिफरेन्स होता है।



इस प्रकार के एम्पलीफायर सर्किट का इनपुट इम्पीडेंस कम (700 से 2000 ओह्म तक) होता है इसका आउटपुट इम्पीडेंस अधिक (लगभग 5 मेगा ओह्म) होता है इस सर्किट में इनपुट बेस पर देते है तथा आउटपुट कलैक्टर पर प्राप्त होता है अतः इसका करंट गेन निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है जाकि लगभग 245 होता है।

Current Gain =	$\frac{I_c}{I_b}$	= β

जहाँ I_c = कलैक्टर करंट
I_b = बेस करंट

Beta (β) – किसी ट्रांजिस्टर की कलैक्टर करंट तथा बेस करंट के अनुपात को उस ट्राजिंस्टर का (करंट गेन) β कहते हैं।

इस सर्किट का वोल्टेज गेन निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है, जो कि लगभग 245 होता है।

Voltage Gain	= $\frac{I_c}{I_b}$	X	$\frac{R_L}{R_{IN}}$	=	β	X	$\frac{R_L}{R_{IN}}$

I_c = ट्रांजिस्टर की कलैक्टर करंट.
I_b = ट्रांजिस्टर की बेस करंट.
R_L = लोड रजिस्टेंस का मान, ओम्हस
R_{IN} = सर्किट के इनपुट पर प्रयुक्त रेजिस्टेंस का मान, ओम्हस

इस सर्किट का पॉवर गेन नीचे दिये सूत्रानुसार ज्ञात किया जाता है जो कि अधिकतक लगभग 12000 होता है।

$$\text{Power Gain} = P_{out}/P_{in}$$

Power Gain	=	$\frac{I_c^2 R_L}{I_b^2 R_{IN}}$	=	β^2	X	$\frac{R_L}{R_{IN}}$

I = ट्रांजिस्टर की कलैक्टर करंट.
I_b = ट्रांजिस्टर की एमीटर करंट.
R_L = लोड रजिस्टेंस का मान, ओम्हस
R_{IN} = सर्किट के इनपुट पर प्रयुक्त रेजिस्टेंस का मान, ओम्हस

कॉमन एमीटर एम्पलीफायर सर्किट का इनपुट इम्पीडेंस कम तथा आउटपुट इम्पीडेंस अधिक, करंट गेन अधिक, वोल्टेज गेन कम तथा पॉवर गेन अधिक होने के कारण यह सबसे अधिक प्रचलित में है।

उदाहरण :– यदि किसी एमीटर ट्रांजिस्टर एम्पलीफायर की एमीटर करंट 5mA तथा बेस करंट 0.1mA है। इस सर्किट के इनपुट पर 2000 ओह्म और आउटपुट पर 10,000 ओह्म रेजिस्टेंस प्रयोग किया है। तो ज्ञात कीजिये –ट्रांजिस्टर का करंट गेन।

1. ट्रांजिस्टर का वोल्टेज गेन
2. ट्रांजिस्टर का पावर गेन

1. हल– $I_c = I_e - I_b$ =5-0.1 = 4.9 mA
Current gain = ?, I_e = 5mA, I_b = 0.1mA

$$\text{Current Gain} = \frac{I_c}{I_b} = \beta$$

$$\text{Current Gain} = \frac{I_c}{I_b} \quad 49$$

2. हमें ज्ञात है– Ic= 4.9 mA, R_L=10,000Ω, R_{IN} = 2000 Ω

$$\text{Voltage Gain} = \frac{I_c}{I_b} \times \frac{R_L}{R_{IN}} = \beta \times \frac{R_L}{R_{IN}}$$

$$\text{Voltage Gain} = \frac{4.9}{0.1} \times \frac{10000}{2000} = \beta \times \frac{R_L}{R_{IN}}$$

= 245

$$\text{Power Gain} = \frac{I_c^2 R_L}{I_b^2 R_{IN}} = \beta^2 \times \frac{R_L}{R_{IN}}$$

$$\text{Power Gain} = \frac{(4.9)^2 \times 10000}{(0.1)^2 \times 2000} = \beta^2 \times \frac{R_L}{R_{IN}}$$

= $(49)^2$x5 = 12005

Relation between current gain α and β-

हम जानते है कि $I_E = I_B + I_C$

Emmiter current = I_E
Base current = I_B
Collector current = I_C

सूत्र में I_C का भाग देने पर

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_B}{I_C} + \frac{I_C}{I_C}$$

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_B}{I_C} + 1$$

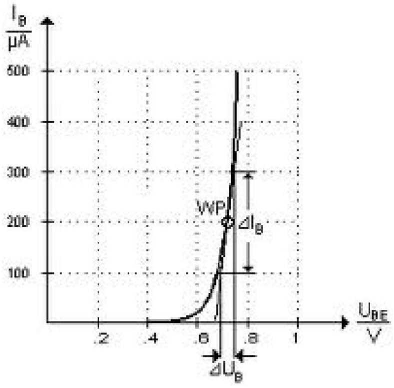
$$\text{Current Gain} = \frac{I_c}{I_b} = \beta$$

$$\text{Cureent Gain } \alpha = \frac{Ic}{Ie}$$

$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\beta} + 1 = \frac{1+\beta}{\beta}$	त्रियक गुणा करने पर
$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$	या
$\alpha(1+\beta) = \beta$	
$\alpha+\alpha\beta = \beta$	
$\alpha = \beta-\alpha\beta$	$= \beta(1-\alpha)$
$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$	

कॉमन एमीटर CE ट्रांजिस्टर कोनफिगरेषन के करेक्टेरिस्टिक :–

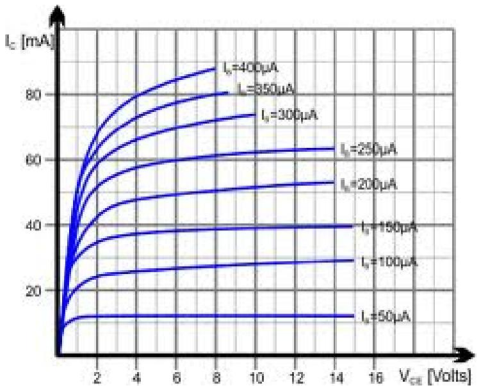
कॉमन एमीटर कोनफिगरेषन के बेस करंट (I_b) एमीटर बेस वोल्टेज (V_{EB}) कलैक्टर करंट (I_c) तथा कलैक्टर व एमीटर के मध्य वोल्टेज (V_{CE}) ये चारो करंट/वोल्टेज परिवर्तनषील होते है ये चारो वोल्टेज/करंट मे से बेस करंट तथा एमीटर व बेस वोल्टेज के मध्य खीचे गये ग्राफ को इनपुट करेक्टेरिस्टिक कहते है। इसी प्रकार कलैक्टर करंट (Ic) तथा एमीटर कलैक्टर बाल्टेज (V_{CE}) के मध्य संबंध प्रकट करने वाले ग्राफ को आउटपुट करेक्टेरिस्टिक कहते है।



ट्रांजिस्टर के इनपुट करेक्टेरिस्टिक :–वोल्टेज डिवाइडर R_2 के द्वारा कलैक्टर व एमीटर के मध्य वोल्टेज (V_{CE}) को एक निष्चित तथा उपयुक्त मान पर समायोजित करते है। अब बेस व एमीटर के मध्य वोल्टेज (V_{EB}) को बदलते जाते है। प्रत्येक एमीटर वोल्टेज (V_{EB}) के लिए जाइन्ट बेस करंट (I_b) का मान ज्ञात करते जाते है इस प्रकार प्राप्त मानों के द्वारा (V_{EB}) तथा बेस करंट के बीच करेक्टेरिस्टिक ग्राफ खीचतें है। जो कि इस इनपुट सर्किट का इनपुट करेक्टेरिस्टिक होता है। कलैक्टर व एमीटर के मध्य वोल्टेज को बदलकर प्रत्येक (V_{CE}) पर बेस करंट का मान ज्ञात करते जाते है इस प्रकार वोल्टेज (V_{EB}) तथा बेस करंट (I_b) के मानों के मध्य दूसरा इनपुट करेक्टरिस्टिक ग्राफ खीचा जा सकता है।

ट्रांजिस्टर के आउटपुट करेक्टेरिस्टिक :–

वोल्टेज डिवाइडर R_1 के द्वारा बेस करंट (I_b) फिक्स कर लेते है तथा आउटपुट सर्किट R_2 की सहायता से वोल्टेज एमीटर कलैक्टर (V_{CE}) का मान वोल्ट मीटर द्वारा ज्वाइंट कलैक्टर करंट (Ic) का मान मिलीएम्पीयर मीटर द्वारा पढ़ते हैं अब एमीटर कलैक्टर वोल्टेज का मान वोल्ट मीटर द्वारा तथा ज्वाइंट कलैक्टर करंट का मान मिलीएम्पीयर मीटर द्वारा पढ़ते है अब कलैक्टर एमीटर वोल्टेज (V_{CE}) के मान बदलते जाते है तथा उसके प्रत्येक मान के लिये ज्वाइंट कलैक्टर करंट का मान ज्ञात करके (V_{CE}) तथा (Ic) के मध्य ग्राफ खींच लेते है। यह



आउटपुट करेक्टेरिस्टिक कहलाता है। अब बेस करंट (I_b) के अन्य मान के लिए इसी प्रक्रिया को दोहरा कर दूसरा ट्रांजिस्टर आउटपुट करेक्टेरिस्टिक ज्ञात करते है।

उपरोक्त करेक्टेरिस्टिक से कॉमन एमीटर ट्रांजिस्टर कांफिगुरेषन के लिये आउटपुट डायनेमिक रजिस्टेंस ज्ञात किया जा सकता है।

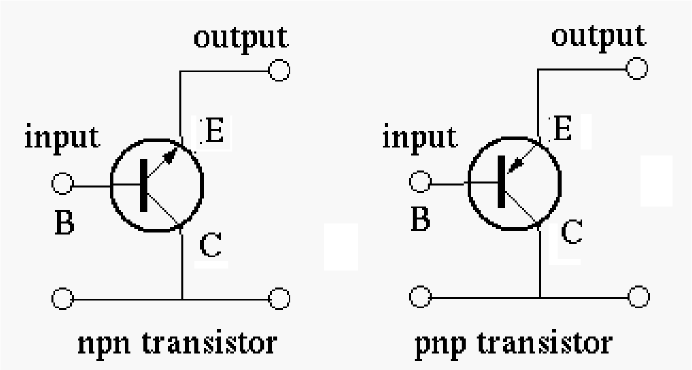
ट्रांजिस्टर का डायनेमिक आउट पुट रजिस्टेंस $= r_o = \dfrac{\Delta V_{EC}}{\Delta I_C}$ जबकि I_B नियत है।

ट्रांजिस्टर के लिये डायनेमिक आउट पुट रजिस्टेंस r_o का मान बहुत अधिक लगभग 20 किलो ओह्म होता है।

ग्राफ से स्पष्ट है कि जब (I_b) = 0 है तब (I_C) का मान शून्य नहीं है यह लीकेज करंट I_{CEO} होता है।

कॉमन कलैक्टर (CC) कोनफिगुरेषन सर्किट :–

इस प्रकार के ट्रांजिस्टर सर्किट को अर्थड कलैक्टर भी कहते हैं। इसमें कलैक्टर इनपुट तथा आउटपुट दोनों के लिये कॉमन बना दिया जाता है। इस सर्किट का एम्पलीफिकेषन लाभ अन्य सर्किट की तुलना में कम होता है अतः इस प्रकार के ट्राजिस्टर सर्किट के इनपुट तथा आउटपुट करेक्टेरिस्टिक विषेष व्यावहारिक महत्व के नहीं होते है। इसका उपयोग इंपीडेंस मैचिग में होता है।



इस प्रकार के एम्पलीफायर सर्किट का इनपुट इम्पीडेंस बहुत अधिक (750 किलो ओह्म) होता है इसका आउटपुट इम्पीडेंस बहुत कम (लगभग 50ओह्म) होता है इस सर्किट में इनपुट बेस पर तथा आउटपुट एमीटर पर प्राप्त होता है अतः इसका करंट गेन निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जाता है जो कि लगभग 100 होता है।

$$\text{Current Gain} = \frac{I_e}{I_b} = \gamma$$

जहॉ I_e = एमीटर करंट
I_b = बेस करंट

α एवं γ में संबन्ध–

$\gamma = \frac{\Delta I_e}{\Delta I_B}$	
$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$	
$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_e}$	
$I_e = I_C + I_B$	
$\Delta I_e = \Delta I_C + \Delta I_B$	
$\Delta I_B = \Delta I_e - \Delta I_C$	ΔI_B का मान γ में रखने पर
$\gamma = \frac{\Delta I_e}{\Delta I_e - \Delta I_C}$	समीकरण में ΔI_e का भाग देने पर
$\gamma = \frac{\Delta I_e/\Delta I_e}{\frac{\Delta I_e}{\Delta I_e} - \frac{\Delta I_C}{\Delta I_e}}$	
$\gamma = \{\frac{1}{1-\alpha}\}$	

ट्रांजिस्टर के तीनो कॉनफिगूरेषनों की तुलना :–

स.क्र.	करेक्टेरिस्टिक	कॉमन बेस	कॉमन एमीटर	कॉमन कलेक्टर
1	इनपुट इंपीडेंस	वेरी लो(40Ω)	लो(50KΩ)	वेरी हाइ(750KΩ)
2	आउटपुट इंपीडेंस	वेरी हाई(1MΩ)	हाई (10KΩ)	वेरी लो(50Ω)
3	करंट गेन	1 से कम	1 से अधिक	अधिक (β+1)
4	वोल्टेज गेन	लो (150)	मीडियम (500)	एक से कम
5	पावरगेन	अधिक	सबसे अधिक	कम
6	लीकेज करंट	बहुत कम	बहुत अधिक(500μA for Ge & 20μA - Si)	बहुत अधिक(500μA for Ge & 20μA for Si)
7	फेज शिफ्ट	0^0	180^0	0^0
8	प्रयोग	For Impedance matching	For amplification	For Impedance matching

सही या गलत चुनिये :–

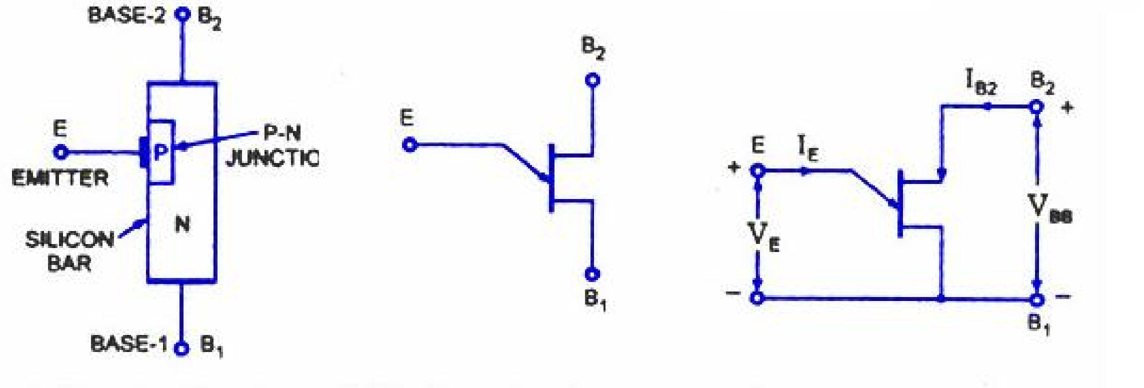
1. ट्राजिस्टर का बेस क्षेत्र अधिक चौड़ा होता है।
2. कॉमन बेस एम्पलीफायर सर्किट का वोल्टेज गेन एक से अधिक होता है।
3. एक ट्रान्जिस्टर का एमीटर बेस जंक्षन सदैव फॉरवर्ड बायस होता है जबकि कलैक्टर बैस जंक्षन रिर्वस बायस में होता है।
4. एक बाइपोलर ट्रांजिस्टर में दो P-N जंक्षन होते है।
5. ट्राजिंस्टर का बीटा हमेषा एल्फा से बड़ा होता है।
6. एक ट्राजिस्टर कट ऑफ,सैचुरेषन या लीनियर रीजन में कार्य कर सकता है।
7. ट्रांजिस्टर एक एक्टिव डिवाइस है।
8. एक ट्राजिंस्टर का एमीटर करंट,बेस करंट तथा कलैक्टर करंट के योग के बराबर होता है।
9. FET के तीन टर्मिनल एमीटर,बेस, कलैक्टर है।
10. एक ट्रांजिस्टर में डिप्लेषन लेयर की संख्या तीन होती है।

उत्तर : 1. गलत, 2. सही, 3.सही, 4. सही, 5. सही,
6. सही, 7. सही, 8. सही 9. गलत 10. गलत

<u>यूनीजंक्षन ट्रॉजिस्टर (UniJunction Transistor)</u>

यह एक सेमीकंडक्टर डिवाइस है जो कि दो डायोड के समतुल्य हैं इसे यूनीपोलर ट्राजिस्टर भी कहते जिसमें तीन टर्मिनल तथा सिर्फ एक जंक्षन होता है यह एक हल्की डोपिंग (उच्च प्रतिरोधकता) सेमी. कंडक्टर राड होती है जो प्रायः N टाईप होती हैं। जिसके केंद्र पर उच्च डोपिंग (निम्न प्रतिरोधकता) प्रदार्थ का विपरीत पोलेरिटी क्षेत्र होता है। बेस–1 तथा बेस–2 टर्मिनल्स सेमीकंडक्टर की छड़ के दोनों सिरों पर तथा केन्द्र पर एमीटर संयोजित रहता है।

सामान्य प्रचालन दषा में UJT का बेस–1 अर्थ पाइंट से संयोजित किया जाता है तथा बेस–2 धनात्मक बायस पर रखा जाता है तथा एमीटर को कम धनात्मक वोल्टेज पर रखा जाता है। जो बेस क्षेत्र के वोल्टेज से अधिक होगा तब ट्राजिंस्टर रिवर्स बायस पर रहेगा इस दषा में अमीटर से होल्स जंक्षन को पार करके बेस–1 पर पहुँचते हैं इस प्रकार अमीटर करंट प्रवाहित होती है और जंक्षन का प्रतिरोध घट जाता है तथा अमीटर वोल्टेज भी घट जाता है। इस प्रकार इस ट्रान्जिस्टर नेगेटिव रेजिस्टेंस का गुण प्रदर्षित होता है।
यह युक्ति किसी रिले या एस सी आर को अचानक पावर पल्स देने का कार्य करती है।



(a) Basic Structure (b) Schematic Symbol (c) Basic Arrangement

Unijunction Transistor

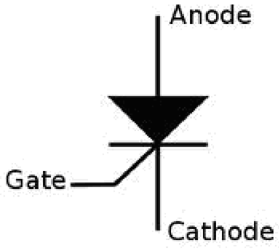
यह N टाईप लघु अशुद्धि युक्त सिलीकॉन की छड़ या क्रिस्टल जिसका रेजिस्टेन्स उच्च (लगभग 10 किलो ओम) होता है के दोनो सिरो पर सामान्य रेजिस्टेन्स या ऐसे कान्टेक्ट जो रेक्टिफिकेशन का कार्य नही करते का बना होता है। यह कान्टेक्ट बेस –1 तथा बेस–2 कहलाते है। एन छड़ के मध्य में एक पी प्रकार के सेमीकन्डक्टर का तुकडा जुडा हुआ होता है जो एमीटर का कार्य करता है। इस प्रकार एक पी–एन जंक्शन इस छड़ पर बनता है।

यूनिजॅक्शन ट्रांजिस्टर अन्य ट्रांजिस्टर की तरह कार्य न करते हुये एक स्विचिंग युक्ति की तरह कार्य करता है।

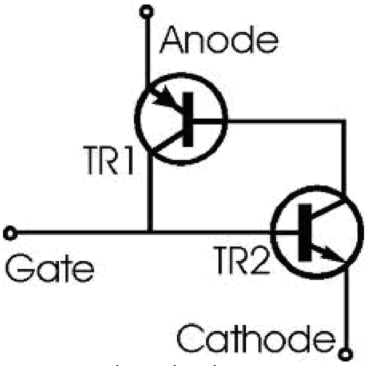
उपयोग – इसका उपयोग डिले टाईमर तथा किसी रिले ट्रिप हेतु पावर सर्किट में स्विचिंग हेतु किया जाता है।

<u>सिलिकान कन्ट्रोल रेक्टिफायर एस.सी.आर.</u>

सिलिकान कन्ट्रोल रेक्टिफायर नाम से जाने जानी वाली यह पीएनपीएन युक्ति सिलिकान की पी तथा एन प्रकार की चार परतों से बनी होती है।



symbol



equvalent circuit

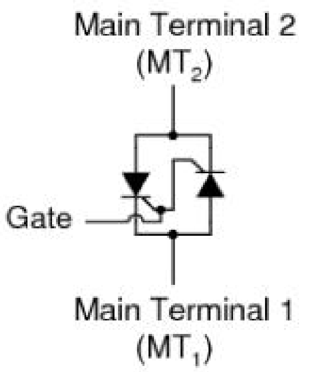
इसके तीन टर्मिनल क्रमषः एनोड ए (A) कैथोड के (K) तथा गेट जी (G) कहलाते है। यह आन अथवा फायर्ड इसके गेट में करंट की पल्स प्रदाय करने से होता है। और इसे एनोड करंट को शून्य कर ही टर्न ऑफ किया जा सकता है। एक स्टैण्र्डड एससीआर लगभग 500 एम्पीयर करंट प्रवाहित कर सकता है।

एससीआर की कार्यविधी दो ट्रांजिस्टरो जिसमें एक एनपीएन तथा पीएनपी हों के द्वारा दिखायी जा सकती है इस दो ट्रांजिस्टर के मिले जुले सर्किट में एनोड तथा कैथोड दोनो ओपन सर्किट की तरह कार्य करते है। जब तक की गेट पर करंट को प्रवाहित न किया जावे।

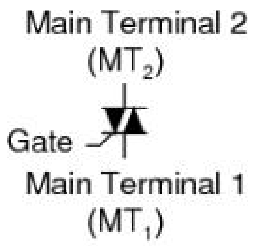
एक बार करंट प्रदाय करने पर एनोड तथा कैथोड लगभग शॉर्ट सर्किट की तरह कार्य करते हैं जहां एनोड करंट को एक लोड रजिस्टेंस द्वारा नियंत्रित किया जाता है जब तक की एनोड कैथोड की तुलना में ज्यादा पाजिटिव होगा प्रत्येक एमीटर बेस जंक्षन फारर्वड बायस में रहेगा जब तक कि गेट करेंट को जीरो नहीं कर दिया जाता है जिससे जंक्षन दो ओपन सर्किट की तरह कार्य करेगा व एनोड तथा कैथोड करेंट प्रेक्टिकली जीरो हो जावेगें। किसी टिपिकल एससीआर में कई एम्पीयर का रेटेड एनोड करंट एक मोमेंटरी पल्स के द्वारा (लगभग 4 माईक्रो सेकेन्ड के समय के लिए) कुछ मिलीएम्पीयर का करंट गेट को देकर प्राप्त किया जा सकता है एससीआर के इस गुण का उपयोग ए सी सर्किट में एससीआर कन्ट्रोल्ड पावर सप्लाई बनाने में किया जाता है।

<u>ट्रायक</u>

यह पेरेलल में जोडे गये दो एससीआर के तुल्य होता है। इसमें दो मुख्य टर्मिनल तथा एक गेट होता है इसकी विषेषता यह होती है कि जब मुख्य टर्मिनल नम्बर दो को पाजिटिव या नेगेटिव पोटेंषियल पर रखा गया हो तो मुख्य टर्मिनल नम्बर एक को पाजिटिव या नेगेटिव पल्स देने पर उसमे से करंट प्रवाह स्थापित हो सकता है।



TRIAC equivalent circuit

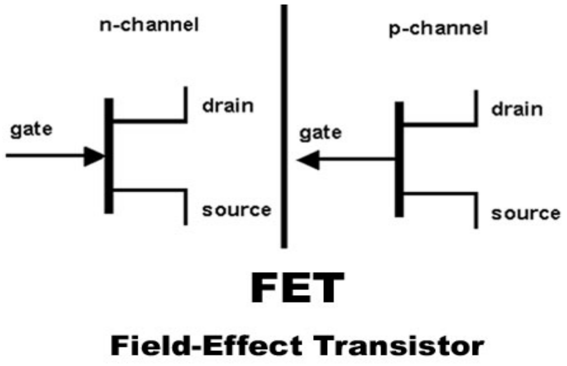


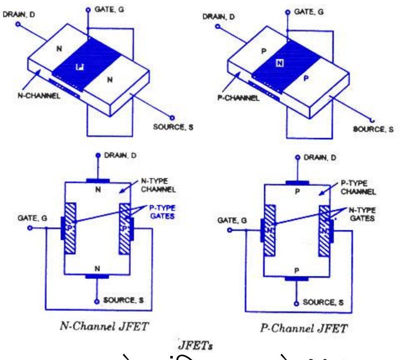
TRIAC schematic symbol

एक बार करंट प्रवाह स्थापित हो जाने पर एससीआर की भांती ही करंट प्रवाह पर गेट का कोई नियंत्रण शेष नहीं रहता। यह करंट प्रवाह तब तक चलता रहता है जब तक कि मुख्य टर्मिनल के वोल्टेज का मान ऑपरेटिंग बिन्दू से नीचे नहीं गिर जाता है अथवा विपरीत ध्रुवता का नहीं हो जाता इसका उपयोग डिजीटल सर्किट में किया जाता है।

<u>फील्डइफेक्ट ट्रॉजिस्टर (**Field Effect Transistor**)</u>

बाइपोलर ट्रांजिस्टर में करंट माइनोरिटी और मेजोरिटी दोनों से मिलकर बनता है परन्तु फील्डइफैक्ट ट्रांजिस्टर जिसको FET भी कहते है। उसमें करंट केवल मेजोरिटी के द्वारा फ्लो होता है यह इसका मुख्य गुण है। FET ट्रांजिस्टर को इसीलिए यूनिपोलर ट्रॉजिस्टर कहते है।





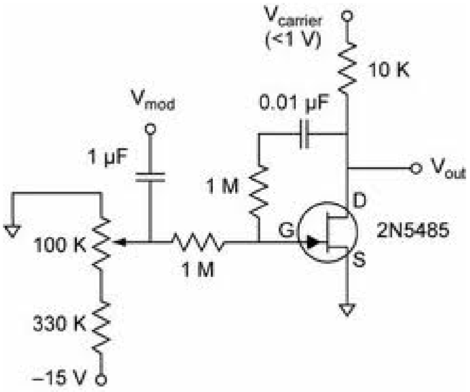
इस प्रकार के ट्रांजिस्टर को N-type चैनल से या P-type चैनल से बनाया जा सकता है। N-type के FET में N-type प्रदार्थ की पतली बार से चैनल बनता है। इसके बाद P-type प्रदार्थ की दो बार इस चैनल के मध्य भाग में डिफ्यूज कर जोड़ी जाती है। यह दो जंक्षन दो PN जंक्षन डायोड बनते हैं जिनको गेटस कहते हैं। चित्र में दोनो P क्षेत्रों को समानान्तर जोड़कर केवल एक तार बाहर निकाली जाती है। इनको गेट ट्रमिनल कहते है दो गेट्स के मध्य के क्षेत्र को चैनल कहते है।

जो दो टर्मिनल N-type बार को जोड़ती है उनमें से एक को सोर्स टर्मिनल और दूसरे को ड्रेंन टर्मिनल कहते है।

P चैनल FET में दो N-type पदार्थ को उसके दानों तरफ मध्य में जोड़ा जाता है।

Working of FET

जब V_{DD} वोल्टेज N चैनल FET के सोर्स और टर्मिनल के बीच दी जाती है तब इलैक्ट्रान सोर्स से ड्रेन की तरफ N-type मटेरियल के अंदर से बहते है।



चित्र के अनुसार गेट और सोर्स के बीच रिवर्स बाइस देने पर हर एक PN जंक्शन के ऊपर इलेक्ट्रिक क्षेत्र बन जाता है। इस कंडक्शन के समय जंक्शन के पास के क्षेत्र में इलैक्ट्रोन नहीं रह जाते है। इस क्षेत्र को डिप्लेषन रीजन कहते है इस रीजन (क्षैत्र) के कारण चैनल का क्रास सैक्षन एरिया घट जाता है। जब डिप्लेषन क्षेत्र इतना बढ़ जाता है कि यह दोनों सीधे सम्पर्क में आ जाते हैं तब इसको pinched off चैनल कहते हैं। गेट और सोर्स के मध्य में दी गई बायस के मध्य में दी गई बाईस रिवर्स बायस है। और यही सोर्स और ड्रेन के मध्य बहने वाले इलैक्ट्रोन को कंट्रोल करती है। क्योकि इलैक्ट्रान के बहाव को डिप्लेषन रीजन कंट्रोल करता है इसलिए इसको डिप्लेषन टाईप FET कहते है।

FET एम्पलीफायर सर्किट की तरह उपयोग होती है चित्र में सोर्स को अर्थ किया गया है। सोर्स तथा गेट के मध्य रिवर्स बायस प्रदान किया गया है। और इस प्रकार गेट,सोर्स की अपेक्षा निगेटिव हो जाता है। यह रिवर्स बायस FET के जंक्शन पर डिप्लेषन रीजन उत्पन्न करती है। जो कि ड्रेन करंट के नियत्रिंत करती है। अतः सोर्स और ड्रेन की ओर जाने वाले चार्ज कैरियर्स की मात्रा भी परिवर्तित होती है। इस प्रकार इनपुट में होने वाले छोटे से परिवर्तन से ड्रेन करंट (I_D) में बड़ा परिवर्तन होता है अतः सर्किट के लोड पर एम्पलीफाइड सिग्नल प्राप्त होता है।

P चैनल का FET भी इसी प्रकार का कार्य करता है इसमें केवल इतना अंतर है चैनल कैरियर करंट इलैक्ट्रोन के स्थान पर होल्स द्वारा बहता है। इसके अलावा तीनों इलैक्ट्रोड पर दी जाने वाली वोल्टेज की पोलेरिटी बदल जाती है। अतः बाइपोलर और यूनीपोलर ट्राजिस्टर्स में दो मुख्य अंतर है–

1. Uni JunctionTransistor वोल्टेज कंट्रोल डिवाइस है तथा Bi-Junction करंट के द्वारा नियंत्रित किये जाते है।
2. Bi-Junction साधारण अवस्था में ऑफ रहते हैं और Uni-Polar ऑन रहता है।

FET के लाभ :–

1. इसका इनपुट इम्पीडेंस अधिक होता है।
2. पावर गेन अधिक होता है।
3. अच्छी फाइडेलिटी प्रदान करता है।

उपयोग :–

1. टी.वी. रिसीवर में।
2. इलैक्ट्रोनिक परीक्षण यंत्रो की प्रथम एम्पलीफायर स्टेज में।
3. कम्प्यूटर में।

मेटल ऑक्साइड सेमीकंडक्टर फील्ड इफैक्ट ट्राजिंस्टर (MOSFET)

यह एक बहुत महत्वपूर्ण सेमी कंडक्टर डिवाइस है। जिसका उपयोग अनेकों सर्किट में किया जाता है। MOSFET का इनपुट इम्पीडैंस, FET का इनपुट इम्पीडैंस की अपेक्षा बहुत अधिक होता है क्योकि इसकी गेट लीकेज करंट बहुत कम होती है। इसका उपयोग उन सभी सर्किट्स में हो सकता है जिनमें FET उपयोग किया जाता है। इसका कार्य सिद्वान्त ठीक FET के समान ही है।

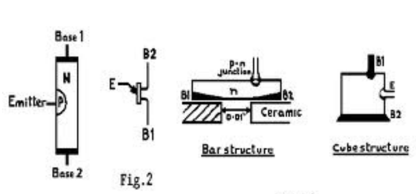
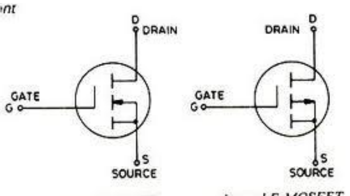


Fig.1 Fig.2 Fig.3



n-channel E-MOSFET (a) p-channel E-MOSFET (b)

संरचना –

चित्र के अनुसार N-Channel MOSFET की संरचना को दर्षाया गया है यह निम्न संषोधनों को छोड़कर FET के समान है।

1. इसमें केवल एक P रीजन होता है, जिसे substrate कहते हैं।
2. इस चैनल की बॉयी ओर मेटल ऑक्साइड की पतली सतह जमी होती है।
3. ऑक्साइड सतह के ऊपर मैटालिक गेट बना होता है। सिलिकॉन डाईऑक्साइड इंसुलेटर होने के कारण गेट भी चेनल से इन्सुलेट रहता है। अतः को इन्सुलेटेड गेट FET भी कहते है।
4. MOSFET में भी FET के समान तीन टर्मिनल होते हैं जो कि सोर्स,गेट तथा ड्रेन कहलाते है।

कार्य सिद्धान्त :–

इस ट्राजिंस्टर में गेट एक छोटे केपेसिटर के रूप में बना होता है इसकी एक प्लेट गेट होता है और दूसरी प्लेट, चैनल होता है। जब गेट पर निगेटिव वोल्टेज दिया जाता है तो इस पर इलैक्ट्रोन एकत्रित होते हैं जो चैनल की सतह के इलैक्ट्रोन्स को प्रतिकर्षित करते है। अतः चैनल में करंट प्रवाह के लिए कम इलैक्ट्रान उपलब्ध होते है। इस प्रकार गेट पर निगेटिव वोल्टेज होने की दषा में सोर्स से ड्रेन तक बहने वाली करंट घट जाती है। इसके विपरीत गेट पर पॉजिटिव वोल्टेज होने की दषा में उपरोक्त चैनल में करंट बढ़ जाती है। MOSFET में निम्न विषेषताऐ होती है।

1. सोर्स से ड्रेन तक करंट गेट कैपेसिटर के इलैक्ट्रिक फील्ड द्वारा कंट्रोल होती है।

2. MOSFET में FET के समान गेट डायोड नहीं होता है। अतः इसके गेट पर निगेटिव या पॉजीटिव वोल्टेज दिया जा सकता है और इसका इनपुट इम्पीडेंस अधिक हो जाता है। जो 10,000 किलो ओम्ह से 10,000 मेगा ओम तक होती है।

3. गेट कैपेसिटर के कारण गेट करंट सभी दषाओं में नगण्य होती है।

000

लेखक – स.उ.नि. रे. शारदा प्रसाद तिवारी

बिषय सामग्री का संदर्भ –

1. बेसिक इलेक्ट्ानिक्स, लेखक – संजय शर्मा

2. बेसिक इलेक्ट्ानिक्स, लेखक – जे. बी. गुप्ता

3. इलेक्ट्ानिक्स थ्योरी, लेखक – एस. सी. शर्मा

4. बैसिक इलैक्ट्ानिक्स इंजीनियरिंग – पी. एस. जाखर