अध्याय 14: अर्धचालक इलेक्ट्रॉनिकी: पदार्थ, युक्तियां एवं सरल परिपथ

1. अध्याय का संक्षिप्त परिचय (Brief Introduction)

अब तक हमने मुख्य रूप से चालकों (Conductors) और विद्युतरोधियों (Insulators) के बारे में अध्ययन किया है। लेकिन आधुनिक इलेक्ट्रॉनिकी की नींव एक विशेष वर्ग के पदार्थों पर टिकी है, जिन्हें **अर्धचालक (Semiconductors)** कहा जाता है। इन पदार्थों की विद्युत चालकता चालकों से कम परंतु कुचालकों से अधिक होती है। सबसे महत्वपूर्ण बात यह है कि हम इनकी चालकता को बाह्य अशुद्धि मिलाकर या तापमान बदलकर नियंत्रित कर सकते हैं। इसी नियंत्रण क्षमता के कारण डायोड, ट्रांजिस्टर, LED और इंटीग्रेटेड सर्किट (IC) का निर्माण संभव हो सका है, जिसने मोबाइल, कंप्यूटर और अंतरिक्ष तकनीक में क्रांति ला दी है।

2. महत्वपूर्ण परिभाषाएँ (Important Definitions)

- **अर्धचालक (Semiconductor):** वे पदार्थ जिनकी विद्युत चालकता 10^{-6} *S/m* से 10^{4} *S/m* के मध्य होती है। उदाहरण: सिलिकॉन (Si) तथा जर्मेनियम (Ge)।
- **वर्जित ऊर्जा अंतराल (Energy Band Gap - E_g):** संयोजकता बैंड (Valence Band) के उच्चतम ऊर्जा स्तर और चालन बैंड (Conduction Band) के निम्नतम ऊर्जा स्तर के बीच का अंतर वर्जित ऊर्जा अंतराल कहलाता है।
- **नैज अर्धचालक (Intrinsic Semiconductor):** बिना किसी बाह्य अशुद्धि के एकदम शुद्ध रूप में पाए जाने वाले अर्धचालक नैज अर्धचालक कहलाते हैं। इसमें इलेक्ट्रॉन और होल की संख्या समान होती है ($n_e = n_h = n_i$)।
- **अपद्रव्यी अर्धचालक (Extrinsic Semiconductor):** जब शुद्ध अर्धचालक में उसकी चालकता बढ़ाने के लिए कोई उपयुक्त अल्प मात्रा में अशुद्धि मिलाई जाती है, तो इसे अपद्रव्यी या बाह्य अर्धचालक कहते हैं।
- **मादन (Doping):** शुद्ध अर्धचालक में नियंत्रित मात्रा में वांछित अशुद्धि मिलाने की प्रक्रिया को मादन (Doping) कहते हैं। अशुद्धि परमाणुओं को डोपेंट (Dopant) कहा जाता है।
- **होल या कोटर (Hole):** जब संयोजकता बैंड से कोई इलेक्ट्रॉन ऊर्जा पाकर चालन बैंड में जाता है, तो संयोजकता बैंड में एक रिक्त स्थान बन जाता है, जिसे होल कहते हैं। यह एक आभासी धनावेश की भाँति व्यवहार करता है।

- **P-N संधि डायोड (P-N Junction Diode):** जब एक P-प्रकार के अर्धचालक क्रिस्टल को परमाणु स्तर पर N-प्रकार के अर्धचालक क्रिस्टल के साथ जोड़ा जाता है, तो संपर्क सतह को P-N संधि कहते हैं, और इस युक्ति को डायोड कहते हैं।
- **अवक्षय परत (Depletion Layer):** P-N संधि के दोनों ओर वह क्षेत्र जिसमें कोई भी गतिशील आवेश वाहक (मुक्त इलेक्ट्रॉन या होल) उपस्थित नहीं होते, केवल अचल आयन होते हैं, अवक्षय परत कहलाती है।

3. सभी महत्वपूर्ण सूत्र (All Important Formulas)

1. नैज अर्धचालक में आवेश वाहकों का साम्यावस्था संबंध (मास एक्शन लॉ):

$$n_e \times n_h = n_i^2$$

2. अर्धचालक की कुल विद्युत धारा:

$$I = I_e + I_h$$

3. अर्धचालक की कुल विद्युत चालकता (σ):

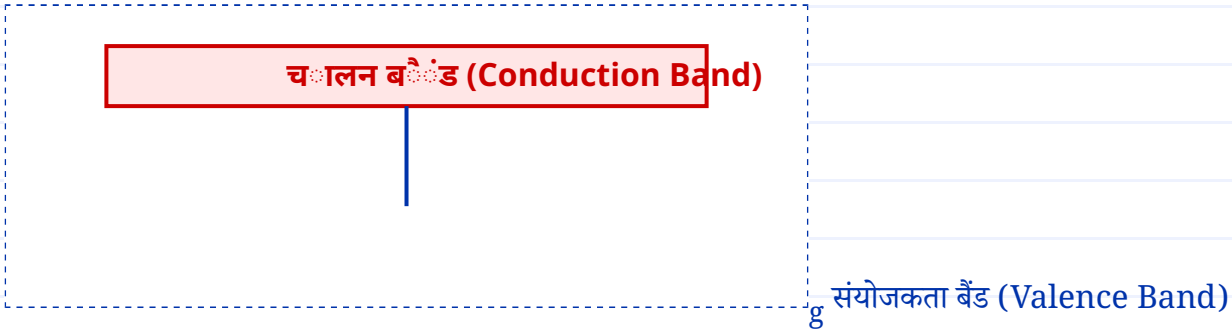
$$\sigma = e\,(n_e\mu_e + n_h\mu_h)$$

यहाँ μ_e = इलेक्ट्रॉन गतिशीलता, μ_h = होल गतिशीलता, e = इलेक्ट्रॉन का आवेश।

4. महत्वपूर्ण बिंदु (Key Points for Board Exam)

- परम शून्य ताप ($0\ K$) पर शुद्ध अर्धचालक एक आदर्श कुचालक (Insulator) की भाँति व्यवहार करता है क्योंकि चालन बैंड पूर्णतः रिक्त होता है।
- तापमान बढ़ाने पर अर्धचालकों का प्रतिरोध **घटता** है, अर्थात् इनका प्रतिरोध ताप गुणांक (α) **ऋणात्मक** होता है।
- P-प्रकार के अर्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक **होल** होते हैं तथा अशुद्धि त्रिसंयोजी (जैसे- Al, B, In) होती है।
- N-प्रकार के अर्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक **मुक्त इलेक्ट्रॉन** होते हैं तथा अशुद्धि पंचसंयोजी (जैसे- P, As, Sb) होती है।
- P-प्रकार और N-प्रकार दोनों ही अर्धचालक बाह्य रूप से पूर्णतः **विद्युत उदासीन** होते हैं।

5. आवश्यक हस्तलिखित डायग्राम (Hand-drawn Style Diagrams)



चित्र 1: अर्धचालक का ऊर्जा बैंड आरेख

चित्र 2: P-N संधि डायोड (अग्र अभिनति परिपथ)

6. महत्वपूर्ण प्रश्न एवं उत्तर (1 से 30)

[अति लघु उत्तरीय प्रश्न - 2 अंक]

प्रश्न 1: ऊर्जा बैंड के आधार पर चालक और अर्धचालक में मुख्य अंतर लिखिए। 2 अंक

उत्तर: चालकों में संयोजकता बैंड और चालन बैंड एक-दूसरे के ऊपर अतिव्यापित (Overlap) होते हैं, जिससे वर्जित ऊर्जा अंतराल शून्य ($E_g = 0$) होता है। इसके विपरीत, अर्धचालकों में यह अंतराल बहुत कम (लगभग $1\ eV$) होता है, जिसके कारण कुछ इलेक्ट्रॉन सामान्य ताप पर चालन बैंड में पहुँच जाते हैं।

प्रश्न 2: डोपिंग किसे कहते हैं? इसे शुद्ध अर्धचालक में क्यों किया जाता है? 2 अंक

उत्तर: शुद्ध अर्धचालक क्रिस्टल में अत्यंत सूक्ष्म मात्रा में बाह्य अशुद्धि (जैसे पंचसंयोजी या त्रिसंयोजी परमाणु) मिलाने की नियंत्रित प्रक्रिया को डोपिंग कहते हैं। शुद्ध अर्धचालक की चालकता बहुत कम होती है; डोपिंग करने से मुक्त आवेश वाहकों की संख्या अत्यधिक बढ़ जाती है जिससे चालकता कई गुना बढ़ जाती है।

प्रश्न 3: N-प्रकार के अर्धचालक में बहुसंख्यक और अल्पसंख्यक आवेश वाहकों के नाम लिखिए। क्या यह आवेशित होता है? 2 अंक

उत्तर: N-प्रकार के अर्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक **मुक्त इलेक्ट्रॉन** तथा अल्पसंख्यक आवेश वाहक **होल (कोटर)** होते हैं। नहीं, यह पूर्णतः **विद्युत उदासीन** होता है, क्योंकि मिलाए गए अशुद्धि परमाणु और मूल परमाणु दोनों ही उदासीन होते हैं।

प्रश्न 4: P-प्रकार के अर्धचालक को तैयार करने के लिए प्रयुक्त किन्हीं दो डोपेंट्स (अशुद्धियों) के नाम लिखिए। 2 अंक

उत्तर: P-प्रकार का अर्धचालक बनाने के लिए त्रिसंयोजी (Valency = 3) अशुद्धियों का उपयोग किया जाता है। उदाहरण: 1. एल्युमिनियम (Al), 2. बोरॉन (B) अथवा इंडियम (In)।

प्रश्न 5: अवक्षय परत (Depletion layer) की चौड़ाई पर अग्र अभिनति (Forward Bias) का क्या प्रभाव पड़ता है? 2 अंक

उत्तर: जब P-N संधि डायोड को अग्र अभिनति में जोड़ा जाता है, तो बाह्य विद्युत क्षेत्र आंतरिक प्राचीर विद्युत क्षेत्र का विरोध करता है। इसके कारण अवक्षय परत की चौड़ाई (Thickness) **घट जाती है** और संधि का प्रतिरोध बहुत कम हो जाता है।

प्रश्न 6: उत्क्रम अभिनति (Reverse Bias) में डायोड से प्रवाहित अल्प धारा का क्या कारण है? 2 अंक

उत्तर: उत्क्रम अभिनति में बाह्य वोल्टेज अल्पसंख्यक आवेश वाहकों (P-क्षेत्र के इलेक्ट्रॉन और N-क्षेत्र के होल) की गति में सहायता करता है। अतः प्रवाहित होने वाली सूक्ष्म धारा (माइक्रो-एम्पियर में) केवल **अल्पसंख्यक आवेश वाहकों** के कारण होती है, जिसे उत्क्रम संतृप्ति धारा कहते हैं।

प्रश्न 7: प्राचीर विभव (Barrier Potential) की परिभाषा लिखिए। सिलिकॉन के लिए इसका मान कितना होता है? 2 अंक

उत्तर: P-N संधि पर विसरण के कारण अवक्षय परत के सिरों पर उत्पन्न वह विभवांतर जो आवेश वाहकों के स्वतः विसरण को और आगे रोकता है, प्राचीर विभव कहलाता है। सिलिकॉन (Si) के लिए इसका मान लगभग **0.7 V** तथा जर्मेनियम (Ge) के लिए **0.3 V** होता है।

प्रश्न 8: दिष्टकरण (Rectification) क्या है? इसके लिए किस युक्ति का उपयोग किया जाता है? 2 अंक

उत्तर: प्रत्यावर्ती धारा (AC) को दिष्ट धारा (DC) में परिवर्तित करने की प्रक्रिया को दिष्टकरण कहते हैं। इस कार्य के लिए **P-N संधि डायोड** का उपयोग दिष्टकारी के रूप में किया जाता है, क्योंकि यह केवल एक ही दिशा (अग्र अभिनति) में धारा प्रवाहित होने देता है।

प्रश्न 9: LED का पूरा नाम लिखिए। यह किस अभिनति में कार्य करता है? 2 अंक

उत्तर: LED का पूरा नाम **प्रकाश उत्सर्जक डायोड (Light Emitting Diode)** है। यह हमेशा **अग्र अभिनति (Forward Bias)** में कार्य करता है, जिसमें इलेक्ट्रॉन और होल के पुनर्संयोजन से ऊर्जा प्रकाश के रूप में उत्सर्जित होती है।

प्रश्न 10: सौर सेल (Solar Cell) का मुख्य कार्य सिद्धांत क्या है? इसमें प्रयुक्त दो प्रमुख पदार्थ लिखिए। 2 अंक

उत्तर: सौर सेल सौर ऊर्जा (प्रकाश ऊर्जा) को सीधे विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करता है। यह बिना किसी बाह्य अभिनति के **फोटोवोल्टिक प्रभाव (Photovoltaic Effect)** पर कार्य करता है। इसमें प्रयुक्त होने वाले मुख्य पदार्थ सिलिकॉन (Si) और गैलियम आर्सेनाइड (GaAs) हैं।

[लघु उत्तरीय प्रश्न - 3 अंक]

प्रश्न 11: नैज अर्धचालक और अपद्रव्यी अर्धचालक में तीन प्रमुख अंतर लिखिए। 3 अंक

उत्तर:

1. **शुद्धता:** नैज अर्धचालक पूर्णतः शुद्ध होते हैं, जबकि अपद्रव्यी अर्धचालकों में बाह्य अशुद्धि (डोपेंट) मिलाई जाती है।
2. **आवेश वाहक:** नैज में इलेक्ट्रॉनों और होलों की संख्या बराबर होती है ($n_e = n_h$), जबकि अपद्रव्यी में एक प्रकार का आवेश वाहक बहुसंख्यक होता है ($n_e \neq n_h$)।
3. **चालकता:** नैज अर्धचालक की चालकता सामान्य ताप पर बहुत कम होती है, जबकि अपद्रव्यी अर्धचालक की चालकता बहुत उच्च होती है।

प्रश्न 12: P-प्रकार और N-प्रकार के अर्धचालक में तीन मुख्य अंतर स्पष्ट कीजिए। 3 अंक

उत्तर:

1. **अशुद्धि का प्रकार:** P-प्रकार में त्रिसंयोजी (जैसे Al, B) अशुद्धि मिलाई जाती है, जबकि N-प्रकार में पंचसंयोजी (जैसे P, As) अशुद्धि मिलाई जाती है।
2. **बहुसंख्यक वाहक:** P-प्रकार में बहुसंख्यक आवेश वाहक होल होते हैं, जबकि N-प्रकार में बहुसंख्यक वाहक मुक्त इलेक्ट्रॉन होते हैं।
3. **ऊर्जा स्तर:** P-प्रकार में ग्राही ऊर्जा स्तर संयोजकता बैंड के ठीक ऊपर बनता है, जबकि N-प्रकार में दाता ऊर्जा स्तर चालन बैंड के ठीक नीचे बनता है।

प्रश्न 13: P-N संधि के निर्माण के दौरान होने वाली दो महत्वपूर्ण प्रक्रियाओं (विसरण एवं अपवाह) को समझाइए। 3 अंक

उत्तर:

1. **विसरण (Diffusion):** सांद्रता प्रवणता के कारण P-क्षेत्र से होल N-क्षेत्र की ओर तथा N-क्षेत्र से इलेक्ट्रॉन P-क्षेत्र की ओर गति करते हैं, इस प्रवाह को विसरण धारा कहते हैं।
2. **अपवाह (Drift):** संधि पर बने आंतरिक प्राचीर विद्युत क्षेत्र के कारण अल्पसंख्यक वाहकों (P के इलेक्ट्रॉन और N के होल) की जो गति होती है, उसे अपवाह कहते हैं। साम्यावस्था में विसरण धारा और अपवाह धारा परिमाण में बराबर और दिशा में विपरीत हो जाती हैं।

प्रश्न 14: जेनर डायोड क्या है? इसका प्रतीक चिह्न बनाइए तथा इसका मुख्य उपयोग लिखिए। 3 अंक

उत्तर: जेनर डायोड एक विशेष रूप से अत्यधिक मादित (Heavily Doping) P-N संधि डायोड है, जो बिना नष्ट हुए **उत्क्रम भंजन क्षेत्र (Reverse Breakdown Region)** में निरंतर कार्य कर सकता है।

मुख्य उपयोग: इसका उपयोग **वोल्टेज नियामक (Voltage Stabilizer)** के रूप में किया जाता है।

प्रतीक चिह्न संकेत: सामान्य डायोड के त्रिकोण के आगे सीधी लाइन के स्थान पर 'Z' आकार की रेखा बनाई जाती है।

प्रश्न 15: फोटोडायोड क्या है? यह किस अभिनति में संचालित होता है और क्यों? 3 अंक

उत्तर: फोटोडायोड एक प्रकाश-संवेदी P-N संधि डायोड है, जो इस पर आपतित होने वाले प्रकाश की तीव्रता के अनुसार विद्युत धारा में परिवर्तन करता है। यह हमेशा **उत्क्रम अभिनति (Reverse Bias)** में संचालित होता है। इसका कारण यह है कि उत्क्रम अभिनति में अल्पसंख्यक वाहकों के कारण बहने वाली संतृप्ति धारा बहुत कम होती है, अतः जब इस पर प्रकाश आपतित होता है, तो उत्पन्न अतिरिक्त आवेश वाहकों के कारण धारा में प्रतिशत परिवर्तन बहुत स्पष्ट और आसानी से मापने योग्य होता है।

[दीर्घ उत्तरीय प्रश्न - 4 व 5 अंक]

प्रश्न 16: P-N संधि डायोड के अग्र अभिनति (Forward Bias) एवं उत्क्रम अभिनति (Reverse Bias) के लिए परिपथ आरेख खींचिए तथा दोनों स्थितियों के लिए V-I अभिलाक्षणिक वक्र बनाइए। 4 अंक

उत्तर:

अग्र अभिनति: डायोड के P-सिरे को बैटरी के धन (+) ध्रुव से तथा N-सिरे को ऋण (-) ध्रुव से जोड़ा जाता है। इसमें धारा तेजी से (mA में) बढ़ती है।

उत्क्रम अभिनति: डायोड के P-सिरे को बैटरी के ऋण (-) ध्रुव से तथा N-सिरे को धन (+) ध्रुव से जोड़ा जाता है। इसमें धारा बहुत कम (μA में) बहती है और एक निश्चित वोल्टेज (भंजन विभव) पर अचानक बढ़ जाती है।

(बोर्ड परीक्षा में इसके लिए चित्र 2 जैसी संरचना तथा चतुर्थांश वक्र आरेख बनाना आवश्यक है, जहाँ प्रथम चतुर्थांश में अग्र वक्र और तृतीय चतुर्थांश में उत्क्रम वक्र दर्शाया जाता है)।

प्रश्न 17: P-N संधि डायोड का अर्ध-तरंग दिष्टकारी (Half Wave Rectifier) के रूप में कार्य सिद्धांत परिपथ आरेख सहित समझाइए। इसके निवेशी (Input) तथा निर्गत (Output) तरंग रूप को भी दर्शाइए। 5 अंक

उत्तर:

सिद्धांत: डायोड केवल अग्र अभिनति में धारा का चालन करता है, उत्क्रम अभिनति में नहीं।

कार्यविधि: निवेशी AC सिग्नल के पहले धनात्मक आधे चक्र के दौरान, ट्रांसफॉर्मर के द्वितीयक सिरे के कारण डायोड का P-सिरा धनात्मक विभव पर होता है, जिससे डायोड अग्र अभिनति में होकर लोड प्रतिरोध R_L से धारा प्रवाहित करता है। ऋणात्मक आधे चक्र के दौरान, P-सिरा ऋणात्मक हो जाता है, जिससे डायोड उत्क्रम अभिनति में आ जाता है और कोई धारा प्रवाहित नहीं होती। इस प्रकार निर्गत पर केवल धनात्मक आधे चक्र ही प्राप्त होते हैं।

निर्गत तरंग: यह एक रुक-रुक कर मिलने वाली दिष्ट धारा होती है जिसकी दक्षता 40.6% होती है।

प्रश्न 18: P-N संधि डायोड का पूर्ण-तरंग दिष्टकारी (Full Wave Rectifier) के रूप में कार्य परिपथ आरेख और तरंग रूप के साथ विस्तार से समझाइए। यह अर्ध-तरंग दिष्टकारी से कैसे बेहतर है? 5 अंक

उत्तर:

संरचना: इसमें मध्य-निष्कासी (Center-tapped) ट्रांसफॉर्मर और दो डायोड D_1 व D_2 का उपयोग किया जाता है।

कार्यविधि: AC के धनात्मक अर्धचक्र में D_1 अग्र अभिनति में और D_2 उत्क्रम अभिनति में होता है, जिससे R_L में धारा D_1 के कारण बहती है। ऋणात्मक अर्धचक्र में D_1 उत्क्रम अभिनति में और D_2 अग्र अभिनति में आ जाता है, जिससे R_L में धारा D_2 के कारण बहती है। महत्वपूर्ण बात यह है कि दोनों ही चक्रों में R_L में धारा की दिशा एक ही रहती है।

श्रेष्ठता: पूर्ण-तरंग दिष्टकारी में निवेशी तरंग के दोनों भागों का दिष्टकरण होता है, इसकी दक्षता (81.2%) अर्ध-तरंग से दोगुनी होती है और निर्गत में ऊर्मिका (Ripples) कम होती हैं।

प्रश्न 19: ऊर्जा बैंड सिद्धांत के आधार पर ठोसों को चालक, कुचालक और अर्धचालक में किस प्रकार वर्गीकृत किया जाता है? प्रत्येक का बैंड आरेख दर्शाइए। 4 अंक

उत्तर: ठोसों का वर्गीकरण वर्जित ऊर्जा अंतराल (E_g) के आधार पर होता है:

1. **चालक (Conductors):** इनमें चालन और संयोजकता बैंड अतिव्यापित होते हैं ($E_g = 0$)। बहुत अधिक संख्या में मुक्त इलेक्ट्रॉन उपलब्ध होते हैं।
2. **कुचालक (Insulators):** इनमें वर्जित ऊर्जा अंतराल बहुत बड़ा होता है ($E_g > 3\ eV$)। संयोजकता बैंड से इलेक्ट्रॉन चालन बैंड में नहीं जा पाते।
3. **अर्धचालक (Semiconductors):** इनमें वर्जित अंतराल छोटा होता है ($E_g \leq 3\ eV$)। जैसे सिलिकॉन के लिए $1.1\ eV$ और जर्मेनियम के लिए $0.7\ eV$। सामान्य ताप पर कुछ इलेक्ट्रॉन चालन बैंड में चले जाते हैं।

प्रश्न 20: जेनर डायोड वोल्टेज नियामक (Voltage Regulator) के रूप में किस प्रकार कार्य करता है? वैद्युत परिपथ बनाकर समझाइए। 3 अंक

उत्तर: जेनर डायोड को अनियंत्रित DC आपूर्ति के साथ श्रेणीक्रम में एक प्रतिरोध R_s जोड़कर उत्क्रम अभिनति (Reverse Bias) में लोड प्रतिरोध R_L के समांतर क्रम में जोड़ा जाता है। जब निवेशी वोल्टेज बढ़ता है, तो जेनर डायोड अपने भंजन क्षेत्र (Breakdown) में होने के कारण अपने सिरों पर विभवांतर को स्थिर रखता है, और अतिरिक्त वोल्टेज श्रेणी प्रतिरोध R_s के सिरों पर आ जाता है। इस प्रकार लोड R_L पर हमेशा एक स्थिर वोल्टेज प्राप्त होता है।

प्रश्न 21: कार्बन, सिलिकॉन और जर्मेनियम सभी की संयोजकता 4 है, फिर भी कार्बन कुचालक क्यों है जबकि Si और Ge अर्धचालक हैं? 2 अंक

उत्तर: कार्बन में वर्जित ऊर्जा अंतराल बहुत अधिक (लगभग 5.4 eV) होता है, जबकि सिलिकॉन (1.1 eV) और जर्मेनियम (0.7 eV) में यह बहुत कम होता है। इसलिए कार्बन में इलेक्ट्रॉन आसानी से चालन बैंड में नहीं जा पाते।

प्रश्न 22: क्या एक P-N संधि डायोड को ओम के नियम का पालन करने वाली युक्ति माना जा सकता है? 2 अंक

उत्तर: नहीं, डायोड एक **अनओमीय (Non-ohmic)** युक्ति है क्योंकि इसका V-I ग्राफ एक सीधी रेखा न होकर वक्रीय होता है, अर्थात् इसका प्रतिरोध नियत नहीं रहता।

प्रश्न 23: LED पारंपरिक फिलामेंट बल्बों की तुलना में क्यों बेहतर हैं? तीन कारण दीजिए। 3 अंक

उत्तर: 1. इनकी विद्युत खपत बहुत कम होती है। 2. इनका जीवनकाल अत्यधिक लंबा होता है। 3. ये चालू होने में बिल्कुल समय नहीं लेते (Fast response time)।

प्रश्न 24: सौर सेल के निर्माण के लिए गैलियम आर्सेनाइड (GaAs) को सिलिकॉन से बेहतर क्यों माना जाता है? 2 अंक

उत्तर: गैलियम आर्सेनाइड की सौर विकिरण के लिए अवशोषण क्षमता सिलिकॉन से बहुत अधिक होती है, जिससे यह कम प्रकाश में भी अधिक विद्युत उत्पन्न कर सकता है।

प्रश्न 25: किसी अर्धचालक को गर्म करने पर उसकी विद्युत चालकता पर क्या प्रभाव पड़ता है? 2 अंक

उत्तर: अर्धचालक को गर्म करने पर सहसंयोजक बंध टूटते हैं जिससे अत्यधिक मात्रा में मुक्त इलेक्ट्रॉन और होल युग्म उत्पन्न होते हैं, फलस्वरूप चालकता **बढ़ जाती है**।

प्रश्न 26: एकीकृत परिपथ (Integrated Circuit - IC) क्या है? इसके दो मुख्य लाभ लिखिए। 3 अंक

उत्तर: जब एक ही छोटे सिलिकॉन चिप पर डायोड, ट्रांजिस्टर, प्रतिरोधक और संधारित्र जैसे अनेक इलेक्ट्रॉनिक घटकों को एक साथ निर्मित किया जाता है, तो उसे IC कहते हैं। लाभ: 1. आकार बहुत छोटा हो जाता है, 2. विश्वसनीयता बहुत उच्च होती है।

प्रश्न 27: किसी P-N संधि डायोड का उत्क्रम भंजन विभव (Breakdown Voltage) क्या दर्शाता है? 2 अंक

उत्तर: वह निश्चित अधिकतम उत्क्रम वोल्टेज जिस पर अवक्षय परत के सहसंयोजक बंध अत्यधिक विद्युत क्षेत्र के कारण अचानक टूट जाते हैं और उत्क्रम धारा का मान तीव्रता से बढ़ता है।

प्रश्न 28: अग्र अभिनति में आदर्श डायोड का प्रतिरोध कितना माना जाता है? 2 अंक

उत्तर: एक आदर्श डायोड का अग्र अभिनति में प्रतिरोध **शून्य** तथा उत्क्रम अभिनति में प्रतिरोध **अनंत** माना जाता है।

प्रश्न 29: डायोड के गतिक प्रतिरोध (Dynamic Resistance) से आप क्या समझते हैं? इसका सूत्र लिखिए। 3 अंक

उत्तर: डायोड के सिरों पर विभवांतर में सूक्ष्म परिवर्तन (ΔV) और उसके कारण धारा में होने वाले सूक्ष्म परिवर्तन (ΔI) के अनुपात को गतिक प्रतिरोध कहते हैं। सूत्र: $r_d = \Delta V / \Delta I$।

प्रश्न 30: किसी अर्धचालक में 'इलेक्ट्रॉन गतिशीलता' (μ_e) का क्या अर्थ है? 2 अंक

उत्तर: एकांक विद्युत क्षेत्र लगाने पर मुक्त इलेक्ट्रॉन द्वारा प्राप्त अपवाह वेग (Drift Velocity) को इलेक्ट्रॉन गतिशीलता कहते हैं। ($\mu_e = v_d / E$)।

7. महत्वपूर्ण संख्यात्मक प्रश्न (Numericals - हल सहित)

आंकिक प्रश्न 1: एक शुद्ध सिलिकॉन क्रिस्टल में नैज आवेश वाहक सांद्रता $1.5 \times 10^{16}\ m^{-3}$ है। यदि इसे फास्फोरस परमाणु द्वारा मादित किया जाता है जिससे इलेक्ट्रॉनों की संख्या सांद्रता बढ़कर $4.5 \times 10^{22}\ m^{-3}$ हो जाती है, तो नए होल की सांद्रता ज्ञात कीजिए।

हल:

दिया है:

नैज वाहक सांद्रता, $n_i = 1.5 \times 10^{16}\ m^{-3}$

इलेक्ट्रॉन सांद्रता, $n_e = 4.5 \times 10^{22}\ m^{-3}$

हम जानते हैं (Mass Action Law से):

$$n_e \times n_h = n_i^2$$

इसलिए, $n_h = n_i^2 / n_e$

$n_h = (1.5 \times 10^{16})^2 / (4.5 \times 10^{22})$

$n_h = (2.25 \times 10^{32}) / (4.5 \times 10^{22}) = 0.5 \times 10^{10} = 5 \times 10^9\ m^{-3}$

उत्तर: होल की नई सांद्रता $5 \times 10^9\ m^{-3}$ है।

आंकिक प्रश्न 2: एक P-N संधि डायोड के अग्र अभिनति में विभव का मान ***0.6 V*** से बढ़ाकर ***0.7 V*** करने पर धारा का मान ***10 mA*** से बढ़कर ***30 mA*** हो जाता है। डायोड का गतिक प्रतिरोध ज्ञात कीजिए।

हल:

विभवांतर में परिवर्तन, $\Delta V = 0.7\ V - 0.6\ V = 0.1\ V$

धारा में परिवर्तन, $\Delta I = 30\ mA - 10\ mA = 20\ mA = 20 \times 10^{-3}\ A$

गतिक प्रतिरोध का सूत्र:

$$r_d = \Delta V / \Delta I$$

$r_d = 0.1 / (20 \times 10^{-3}) = 0.1 \times 1000 / 20 = 100 / 20 = 5\ \Omega$

उत्तर: डायोड का गतिक प्रतिरोध ***5 Ω*** है।

8. महत्वपूर्ण तथ्य, ट्रिक्स और याद रखने योग्य बिंदु

- **Trick to remember Doping:** **P**-type = **P**ositive holes = **T**ri-valent (Al, B) -> याद रखें: "P-T" (Physical Training). **N**-type = **N**egative electrons = **P**enta-valent (P, As) -> याद रखें: "N-P" (Net Profit).
- जब डायोड अग्र अभिनति में होता है, तो बाह्य बैटरी का धनात्मक सिरा P से जुड़ा होता है, जो छिद्रों (Holes) को संधि की ओर ढकेलता है, जिससे अवक्षय परत पतली हो जाती है।

9. Quick Revision Notes

1. **अर्धचालक:** चालकता धातु और कुचालक के बीच। 2. **ऊर्जा बैंड:** संयोजकता बैंड (पूर्ण/आंशिक भरा), चालन बैंड (रिक्त/आंशिक भरा), वर्जित अंतराल दोनों के बीच। 3. **मादन:** जानबूझकर अशुद्धि मिलाना। 4. **P-N संधि:** एक तरफ P, दूसरी तरफ N; संधि पर अवक्षय परत बनती है। 5. **दिष्टकारी:** AC को DC में बदलता है। अर्ध-तरंग में 1 डायोड, पूर्ण-तरंग में 2 डायोड।

10. पिछले वर्षों में बार-बार पूछे गए प्रश्न (PYQs)

PYQ (MP Board 2023, 2025): पूर्ण तरंग दिष्टकारी का परिपथ आरेख बनाकर इसकी कार्यविधि समझाइए।

उत्तर: यह प्रश्न अत्यंत महत्वपूर्ण है। उत्तर के लिए धारा प्रवाह की दोनों दिशाओं (D_1 चालू, D_2 बंद और इसके विपरीत) का स्पष्ट उल्लेख करें जैसा प्रश्न 18 में समझाया गया है। साफ-सुथरा तरंग रूप ग्राफ बनाना न भूलें ताकि पूरे अंक प्राप्त हों।