باب چودہ

نیم موصل الکٹرانیات: مادّے، آلات اور سادہ سرکٹ

(SEMICONDUCTOR ELECTRONICS: MATERIALS, DEVICES AND SIMPLE CIRCUITS)

14.1 تعارف (INTRODUCTION)

وہ آلات جن میں الیکٹرانوں کا قابوشدہ بہاؤ حاصل کیا جاسکتا ہے، تمام الیکٹرانک سرکٹوں کے بنیادی اجزائے ترکیبی ہیں۔ 1948 میں ٹرانسسٹر کی ایجاد سے پہلے، ایسے آلات، زیادہ تر خلائی نلیاں (vacuum tubes) تھیں [جو والو (valves) بھی کہلاتی تھیں] جیسے خلائی ڈایوڈ، جس میں دو برقیرہ ہوتے ہیں، یعنی کہ، مبثیرہ (جسے اکثر پلیٹ بھی کہا جاتا ہے) اور منفیرہ، ٹرایوڈ، جس میں تین برقیرہ ہوتے ہیں — منفیرہ، پلیٹ اور گرڈ، ٹیٹروڈ اور پینٹوڈ (بالترتیب 4 اور 5 برقیروں پر مشتمل)۔ ایک خلائی نلی میں ایک گرم کیے گئے منفیرہ کے ذریعے الیکٹران مہیا کیے جاتے ہیں اور ان الیکٹرانوں کا خلا میں قابوشدہ بہاؤ، اس کے مختلف برقیروں کے درمیان وولٹیج تبدیل کرکے حاصل کیا جاتا ہے۔ برقیروں کی درمیانی جگہ میں خلا چاہیے ہوتا ہے، ورنہ حرکت کرتے ہوئے الیکٹران اپنے رستے میں آنے والے ہوا کے مالیکیولوں سے تصادم کرکے اپنی توانائی ضائع کرسکتے ہیں۔ ان آلات میں، الیکٹران صرف منفیرہ سے مثبیرہ تک بہہ سکتے ہیں (یعنی کہ صرف ایک سمت میں)۔ اسی لیے ایسے آلات کو عام طور سے والو بھی کہا جاتا ہے۔ یہ خلائی نلی آلات، زیادہ جگہ گھیرنے والے ہوتے ہیں، زیادہ پاور استعمال کرتے ہیں، عام طور سے اونچی وولٹیجوں (~100 V) پر کام کرتے ہیں اور ان کی زندگی مختصر ہوتی ہے اور زیادہ قابل بھروسہ بھی نہیں ہوتے۔ جدید ٹھوس۔حالت نیم موصل

© NCERT not to be republished

نیم موصل الکٹرانیات: مادّے، آلات اور سادہ سرکٹ

الیکٹرانیات کی بنیاد 1930 میں پڑی، جب پہلی مرتبہ یہ احساس ہوا کہ کچھ ٹھوس۔ حالت نیم موصل اور ان کے جنکشن ان میں سے گذر رہے چارج برداروں (Charge carriers) کی تعداد اور ان کے بہاؤ کی سمت کو کنٹرول کر سکنے کا امکان مہیا کرتے ہیں۔ سادے اشتعال گر جیسے روشنی، حرارت یا خفیف اطلاقی وولٹیج وغیرہ ایک نیم موصل میں متحرک چارجوں کی تعداد تبدیل کر سکتے ہیں۔ نوٹ کریں کہ نیم موصل آلات میں چارج برداروں کی فراہمی اور چارج کا بہاؤ خود ٹھوس کے اندر ہی ہوتا ہے، جب کہ پرانی خلانلیوں/ والووں میں متحرک الیکٹران ایک گرم کیے گئے منفیرہ سے حاصل کیے جاتے تھے اور انھیں ایک خلا کی گئی جگہ یا خلا میں سے بہایا جاتا تھا۔ نیم موصل آلات کے لیے باہر سے حرارت مہیا کرنے یا خلا کی گئی بڑی جگہ فراہم کرنے کی ضرورت نہیں پیش آتی۔ یہ سائز میں چھوٹے ہوتے ہیں، مقابلتاً بہت کم پاور استعمال کرتے ہیں، ادنیٰ وولٹیج پر کام کرتے ہیں اور ان کی زندگی لمبی ہوتی ہے اور زیادہ قابل بھروسہ ہوتے ہیں۔ ٹیلی ویژن اور کمپیوٹر مانیٹروں میں استعمال کی جانے والی منفیرہ کرن نلیاں [(کیتھوڈ رے ٹیوبز Cathode ray tubes)(CRT)] کو بھی، جو خلائی نلیوں کے اصول پر کام کرتی ہیں، رقیق کرسٹل نمائش [(liquid crystal display) (LCD)] مانیٹروں سے، مددگار ٹھوس حالت الیکٹرانیات کے ساتھ، تبدیل کیا جا رہا ہے۔ نیم موصل آلات کی باقاعدہ اہمیت کا احساس کیے جانے سے بہت پہلے ہی، ایک قدرتی طور پر پائے جانے والے کرسٹل گیلینا (galena) (لیڈ سلفائڈ Pbs) سے ایک دھاتی نقطہ تماس منسلک کر کے اسے ریڈیو لہروں کو شناخت کرنے کے لیے استعمال کیا گیا تھا۔

مندرجہ ذیل حصوں میں ہم نیم موصل طبیعات کے بنیادی تصورات کا تعارف پیش کریں گے اور کچھ نیم موصل آلات، جیسے جنکشن ڈایوڈ (ایک 2- برقیرہ آلہ) اور دو قطبی جنکشن ٹرانسسٹر (ایک 3- برقیرہ آلہ)، سے بحث کریں گے۔ ان کے اطلاق کی وضاحت کرنے والے چند سرکٹ بھی بیان کیے جائیں گے۔

14.2 دھاتوں، موصلوں اور نیم موصلوں کی درجہ بندی (CLASSIFICATION OF METALS, CONDUCTORS AND SEMICONDUCTORS)

ایصالیت کی بنیاد پر:

برقی ایصالیت (σ) یا مزاحمیت $\left(\rho = \frac{1}{\sigma}\right)$ کی نسبتی قدروں کی بنیاد پر ٹھوس اشیا کی موٹے طور پر درجہ بندی کی جاسکتی ہے:

(i) دھاتیں (Metals): ان کی مزاحمت بہت کم ہوتی ہے۔ (یا ایصالیت زیادہ ہوتی ہے)

$$\rho \sim 10^{-2} - 10^{-8}\ \Omega\,m$$

$$\sigma \sim 10^{2} - 10^{8}\ S\,m^{-1}$$

(ii) نیم موصل (Semiconductors): ان کی مزاحمیت یا ایصالیت، دھاتوں اور حاجزوں کے درمیان ہوتی ہے۔

$$\rho \sim 10^{-5} - 10^{+6}\ \Omega\,m$$

$$\sigma \sim 10^{5} - 10^{-6}\ S\,m^{-1}$$

(iii) حاجز (Insulators): ان کی مزاحمیت بہت زیادہ ہوتی ہے (یا ایصالیت بہت کم ہوتی ہے)

© NCERT not to be republished

$$\rho \sim 10^{11} - 10^{19}\ \Omega\ \text{m}$$
$$\sigma \sim 10^{-11} - 10^{-19}\ \text{S m}^{-1}$$

ρ اور σ کی مندرجہ بالا قدریں صرف ان کی عددی قدر کی نشان دہی کرتی ہیں اور کچھ اشیا کے لیے ان کی قدر دی ہوئی سعت کے باہر بھی ہوسکتی ہے۔ مزاحمیت کی نسبتی مقداریں ہی صرف دھاتوں، حاجزوں اور نیم موصلوں میں امتیاز کرنے کا واحد معیار نہیں ہیں۔ کچھ دیگر فرق بھی ہیں، جو اس باب میں آگے بڑھنے کے ساتھ ساتھ واضح ہوتے جائیں گے۔

اس باب میں ہماری دلچسپی ان نیم موصلوں کے مطالعے سے ہے جو ہوسکتے ہیں!

(i) عنصری نیم موصل: Si اور Ge

(ii) مرکب نیم موصل: مثالیں ہیں:

- غیر نامیاتی (inorganic): CdS, GaAs, CdSe, InP, وغیرہ
- نامیاتی (organic): اینتھر اسین، آمیزش شدہ (doped) پیتھالوسیانائنس وغیرہ
- نامیاتی پولیمر: پولی پائی رول، پولی اینی لائن، پولی تھائیوفین وغیرہ

آج کل جو نیم موصل دستیاب ہیں، ان میں سے زیادہ تر عنصری نیم موصل Si یا Gi اور مرکب غیر نامیاتی نیم موصل ہیں۔ لیکن 1990 کے بعد سے چند ایسے نیم موصل آلات تیار کیے گئے ہیں جن میں نامیاتی موصل اور نیم ایصالی پولیمر استعمال کیے گئے ہیں اور اس طرح پولیمر الیکٹرانیات اور مالیکیولی الیکٹرانیات کی شروعات ہوگئی ہے جو مستقبل کی ٹیکنالوجی کی نشان دہی کرتی ہیں۔ اس باب میں ہم غیر نامیاتی نیم موصل، خاص طور پر عنصری نیم موصل Si اور Ge کے مطالعے تک محدود رہیں گے۔ یہاں عنصری نیم موصلوں سے بحث کرنے کے لیے متعارف کرائے گئے عمومی تصورات کا اطلاق بڑی حد تک زیادہ تر مرکب نیم موصلوں پر بھی ہوتا ہے۔

توانائی بینڈس کی بنیاد پر: (On the basis of energy bands)

بوہر ایٹمی ماڈل کے مطابق، ایک جدا ایٹم میں، اس کے کسی بھی الیکٹران کی توانائی اس مدار سے متعین ہوتی ہے جس میں وہ طواف کرتا ہے۔ لیکن جب ایٹم ایک دوسرے کے ساتھ مل کر ٹھوس شے تشکیل کرتے ہیں تو وہ ایک دوسرے کے بہت نزدیک ہوتے ہیں۔ اس لیے پڑوسی ایٹموں کے باہری مدار ایک دوسرے کے بہت زیادہ نزدیک ہوجاتے ہیں، یہاں تک کہ وہ ہم پوش (overlapping) بھی ہوسکتے ہیں۔ اس طرح ایک ٹھوس شے میں الیکٹران کی حرکت، ایک جدا ایٹم میں الیکٹران کی حرکت سے بہت مختلف ہوجاتی ہے۔

ایک کرسٹل کے اندر ہر الیکٹران کا ایک یکتا (unique) مقام ہوتا ہے اور کن ہی دو الیکٹرانوں کے اردگرد چارجوں کا یکساں نمونہ نہیں پایا جاتا۔ اس وجہ سے، ہر الیکٹران کی مختلف توانائی منزل ہوتی ہے۔ وہ توانائی منازل، جن میں توانائی کی مسلسل تبدیلی پائی جاتی ہے، توانائی بینڈ تشکیل دیتے ہیں۔ وہ توانائی بینڈ جس میں گرفت الیکٹرانوں (valence electrons) کی توانائی منازل شامل ہوتی ہیں، گرفت بینڈ کہلاتے ہیں۔ گرفت بینڈ کے اوپر کا توانائی بینڈ، ایصالی بینڈ (conduction band) کہلاتا ہے۔ اگر کوئی خارجی توانائی مہیا نہ ہو تو تمام گرفت الیکٹران، گرفت بینڈ میں رہیں گے۔ اگر ایصالی بینڈ کی

نچلی ترین منزل، گرفت بینڈ کی سب سے اوپری منزل سے نیچے ہو تو گرفت بینڈ کے الیکٹران با آسانی ایصال بینڈ میں جاسکتے ہیں۔ عام طور سے ایصال بینڈ خالی ہوتا ہے۔ لیکن جب وہ گرفت بینڈ سے ہم پوش ہوتا ہے تو الیکٹران با آسانی اس میں داخل ہوسکتے ہیں۔ دھاتی موصلوں میں یہی صورت ہوتی ہے۔

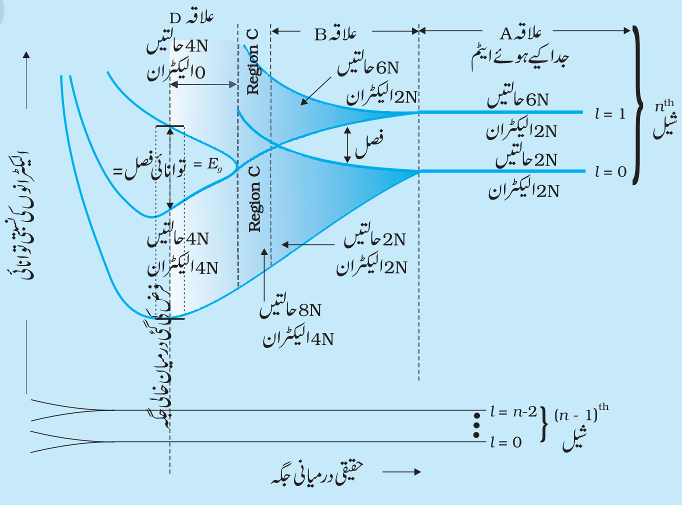
اگر ایصال بینڈ اور گرفت بینڈ کے درمیان کچھ فاصلہ (درمیانی خالی جگہ gap) ہو تو گرفت بینڈ کے تمام الیکٹران بندھے رہتے ہیں اور ایصال بینڈ میں کوئی آزاد الیکٹران نہیں دستیاب ہوتا۔ اس طرح وہ مادی شے حاجز بن جاتی ہے۔ لیکن گرفت بینڈ کے کچھ الیکٹران اتنی خارجی توانائی حاصل کرسکتے ہیں کہ ایصال بینڈ اور گرفت بینڈ کے درمیانی فاصلے کو پار کرسکیں۔ تب یہ الیکٹران ایصال بینڈ میں داخل ہوجائیں گے۔ اور اسی کے ساتھ ساتھ وہ گرفت بینڈ میں خالی توانائی منازل پیدا کردیں گے جہاں دوسرے گرفت الیکٹران آسکتے ہیں۔ اس طرح اس عمل سے ایصال بینڈ میں الیکٹرانوں کے ذریعے اور گرفت بینڈ میں خلو (vacancy) کے ذریعے ایصال کے امکانات پیدا ہوجاتے ہیں۔

آیئے دیکھیں کہ N ایٹموں کے ایک Si یا Ge کرسٹل میں کیا ہوتا ہے۔ Si کے لیے سب سے باہری مدار تیسرا مدار (n=3) ہے جب کہ Ge کے لیے یہ چوتھا مدار (n=4) ہے۔ سب سے باہری مدار میں الیکٹرانوں کی تعداد 4 ہے (2s+6*p* الیکٹران)۔ اس لیے 4N گرفت الیکٹرانوں کے لیے 8N دستیاب توانائی حالتیں ہیں۔ یہ 8N مجرد توانائی منازل یا تو ایک مسلسل بینڈ تشکیل دے سکتے ہیں یا مختلف بینڈوں میں ان کے گروپ ہوسکتے ہیں، جس کا انحصار کرسٹل میں ایٹموں کے درمیانی فاصلے پر ہے (ٹھوس اشیا کے بینڈ نظریہ پر باکس دیکھیے)

Si اور Ge کی کرسٹل جالی (کرسٹل لیٹس crystal lathice) میں ایٹموں کے درمیانی فاصلے پر ان 8N حالتوں کے توانائی بینڈ دو حصوں میں علاحدہ ہوجاتے ہیں، جن کے درمیان توانائی فصل E_g ہوتی ہے (شکل 14.1)۔ نچلا بینڈ جو مطلق صفر درجہ حرارت پر 4N گرفت الیکٹرانوں کے ذریعے مکمل طور پر گھرا ہوتا ہے، گرفت بینڈ ہے۔ دوسرا بینڈ، جو 4N توانائی حالتوں پر مشتمل ہوتا ہے اور ایصال بینڈ کہلاتا ہے، مطلق صفر پر پوری طرح خالی ہوتا ہے۔

ٹھوس اشیا کا بینڈ نظریہ
(BAND THEORY OF SOLIDS)

مان لیجیے کہ Si یا Ge کرسٹل میں N ایٹم ہیں۔ ہر ایٹم کے الیکٹرانوں کی مختلف مداروں میں مجرد توانائیاں ہوں گی۔ اگر تمام ایٹم جدا جدا ہوں، یعنی ایک دوسرے سے طویل فاصلے پر ہوں تو الیکٹران توانائی یکساں ہوگی۔ لیکن ایک کرسٹل میں، ایٹم ایک دوسرے کے نزدیک ہوتے ہیں (2 Å یا 3Å فاصلہ) اس لیے الیکٹران ایک دوسرے سے اور پڑوسی ایٹمی قالبوں سے باہم عمل کرتے ہیں۔ یہ ہم پوشی (overlap) [(یا باہم عمل) (or interaction)] وہ الیکٹران زیادہ محسوس کرتے ہیں جو سب سے باہری مدار میں ہوتے ہیں، جب کہ اندرونی مداروں یا قالب کے الیکٹرانوں کی توانائیاں غیر متاثر رہ سکتی ہیں۔ اس لیے Si یا Ge کرسٹل



© NCERT not to be republished

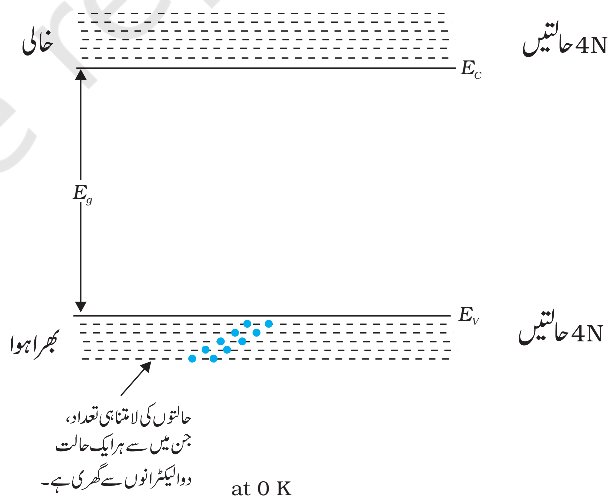
میں الیکٹران توانائیوں کو سمجھنے کے لیے ہمیں صرف سب سے باہری مدار کے الیکٹرانوں کی توانائیوں میں ہونے والی تبدیلیوں کو ہی دیکھنے کی ضرورت ہے۔ Si کے لیے سب سے باہری مدار، تیسرا مدار ہے (n=3)، جب کہ Ge کے لیے یہ چوتھا مدار ہے (n=4)۔ سب سے باہری مدار میں الیکٹرانوں کی تعداد 4 ہے (2s اور 2p الیکٹران) اس لیے کرسٹل میں باہری الیکٹرانوں کی کل تعداد 4N ہے۔ ایک مدار میں باہری الیکٹرانوں کی ازحد ممکنہ تعداد 8 ہے۔ (2s+6p الیکٹران)۔ اس لیے، 4N الیکٹرانوں میں سے، 2N الیکٹران، 2N، s- حالتوں میں (l=0 مداراچہ کوانٹم عدد) اور 2N الیکٹران، 6N، p- حالتوں میں دستیاب ہیں۔ ظاہر ہے کہ کچھ p- الیکٹران حالتیں خالی ہیں، جیسا کہ شکل کے بالکل دائیں حصے میں دکھایا گیا ہے۔ یہ ایک دوسرے سے بخوبی الگ یا جدا ایٹموں کی صورت ہے [شکل کا A علاقہ]

فرض کیجیے کہ یہ ایٹم ایک ٹھوس شے تشکیل کرنے کے لیے ایک دوسرے کے نزدیک آنا شروع کر دیتے ہیں۔ سب سے باہری مدار میں ان الیکٹرانوں کی توانائیاں تبدیل ہوسکتی ہیں (بڑھ بھی سکتی ہیں اور کم بھی ہوسکتی ہیں)، جس کی وجہ مختلف ایٹموں کے الیکٹرانوں کے مابین باہمی عمل ہے۔ l=1 کے لیے 6N حالتیں، جن کی آغازی شکل میں، جدا ایٹموں میں متساوی توانائیاں تھیں، پھیل جاتی ہیں اور ایک توانائی بینڈ تشکیل دیتی ہیں (شکل میں علاقہ B)۔ اسی طرح l = 0 کے لیے 2N حالتیں، جن کی جدا ایٹموں میں متساوی توانائیاں تھیں، ایک دوسرے بینڈ میں شامل ہوجاتی ہیں۔ (دھیان سے شکل کا علاقہ B دیکھیے)، جو کہ پہلے بینڈ سے ایک توانائی فصل کے ذریعے علاحدہ ہوتا ہے۔

اس سے بھی کم درمیانی فاصلے پر، پھر بھی ایک ایسا علاقہ ہوتا ہے، جس میں بینڈ ایک دوسرے میں ضم (merge) ہوجاتے ہیں۔ کم ترین توانائی حالت جو اوپری ایٹمی منزل سے علاحدہ ہوئی ہوتی ہے، مقابلتاً نچلی ایٹمی منزل کی بالائی حالت کے نیچے آجاتی ہے۔ اس علاقے میں (شکل میں علاقہ C)، ایسی کوئی توانائی فصل نہیں ہوتی اور یہاں اوپری اور نچلی توانائی حالتیں ایک دوسرے میں مل جاتی ہیں۔

آخر میں، اگر ایٹموں کا درمیانی فاصلہ مزید کم ہوجائے تو توانائی بینڈ پھر ایک دوسرے سے الگ ہوجاتے ہیں اور ان کے درمیان توانائی فصل E_g آجاتی ہے (شکل میں علاقہ D)۔ دستیاب توانائی حالتوں کی کل تعداد 8N، دونوں بینڈوں کے درمیان دوبارہ تقسیم ہوجاتی ہے (نچلے اور اوپری توانائی بینڈوں میں سے ہر ایک میں 4N حالتیں)۔ یہاں اہم نکتہ یہ ہے کہ نچلے بینڈ میں قطعی درست طور پر اتنی ہی حالتیں ہوتی ہیں (4N)، جتنے ایٹموں سے دستیاب گرفت الیکٹران ہوتے ہیں (4N)۔

اس لیے، یہ بینڈ (جو گرفت بینڈ کہلاتا ہے) مکمل طور پر بھرا ہوتا ہے، جب کہ اوپری بینڈ مکمل طور پر خالی ہوتا ہے۔ یہ اوپری بینڈ ایصال بینڈ کہلاتا ہے۔



شکل 14.1: نیم موصل میں 0 K پر توانائی بینڈ مقامات–اوپری بینڈ، جو ایصال بینڈ کہلاتا ہے، ایک دوسرے کے قریب قریب توانائی حالتوں کی لامتناہی تعداد پر مشتمل ہوتا ہے۔ نچلا بینڈ، جو گرفت بینڈ کہلاتا ہے، ایک دوسرے کے قریب قریب مکمل طور پر بھری ہوئی، توانائی حالتوں پر مشتمل ہوتا ہے۔

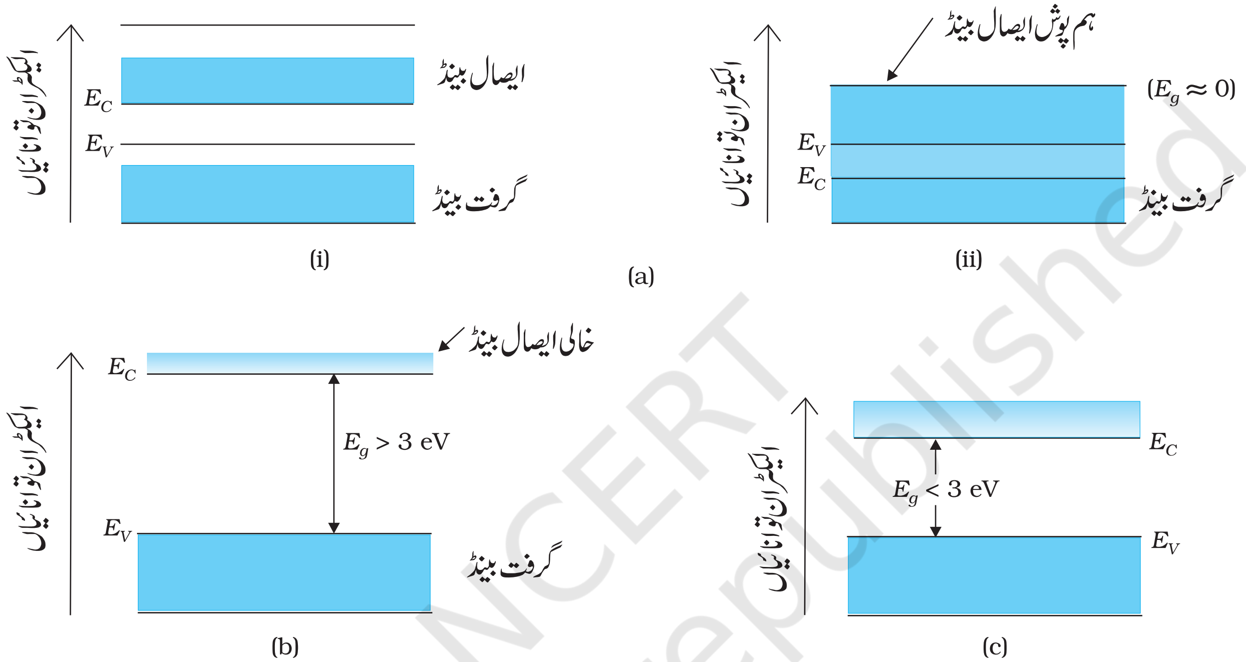
ایصال بینڈ میں کم ترین توانائی منزل کو بہ طور Ec دکھایا گیا ہے اور گرفت بینڈ میں اعظم ترین توانائی کو بہ طور Ev دکھایا گیا ہے۔ Ec سے اوپر تعد Ev سے نیچے ایک دوسرے کے بہت نزدیک بڑی تعداد میں توانائی منازل ہیں، جیسا کہ شکل 14.7 میں دکھایا گیا ہے۔

گرفت بینڈ کی اوپری سطح اور ایصال بینڈ کی سب سے نچلی سطح کے درمیان فصل، توانائی بینڈ فصل (energy band gap) [توانائی فصل E_g] کہلاتی ہے۔ یہ بڑی بھی ہوسکتی ہے، خفیف بھی اور صفر بھی، جو کہ مادی شے پر منحصر ہے۔ یہ مختلف صورتیں شکل 14.2 میں دکھائی گئی ہیں اور ان سے ذیل میں بحث کی گئی ہے۔

صورت 1: یہ وہ صورت ہے جو شکل 14.2(a) میں دکھائی گئی ہے۔ ہمیں ایک دھات اس وقت حاصل ہوسکتی ہے جب یا تو ایصال بینڈ جزوی طور پر بھرا ہوا ہو اور گرفت بینڈ جزوی طور پر خالی ہو یا ایصال

© NCERT not to be republished

بینڈ اور گرفت بینڈ ہم پوش ہوں۔ جب ہم پوشی پائی جاتی ہے تو گرفت بینڈ سے الیکٹران با آسانی ایصال بینڈ میں جا سکتے ہیں۔ اس صورت میں برقی ایصال کے لیے الیکٹرانوں کی ایک بڑی تعداد مہیا ہو جاتی ہے۔ جب گرفت بینڈ جزوی طور پر خالی ہوتا ہے تو اس کی نچلی منزل سے الیکٹران مقابلتاً اوپری منزل میں جا سکتے ہیں اور اس طرح ایصال ممکن ہو جاتا ہے۔ اس لیے ایسی مادی اشیاء کی مزاحمت کم ہوتی ہے اور ایصالیت کی قدر اعلیٰ ہوتی ہے۔



شکل 14.2: (a) دھاتوں (b) حاجزوں (c) نیم موصلوں کے توانائی بینڈوں کے درمیان فرق

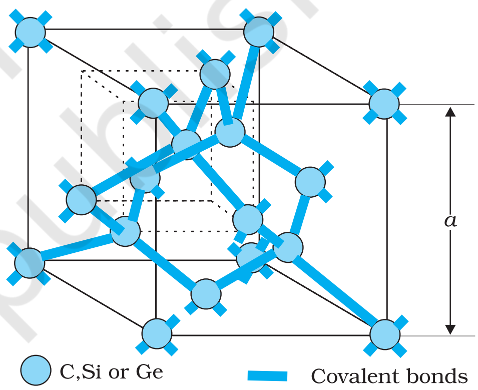
صورت II: اس صورت میں، جیسا کہ شکل (b)14.2 میں دکھایا گیا ہے، ایک طویل بینڈ فصل E_g پائی جاتی ہے، $(E_g > 3$ eV$)$۔ ایصال بینڈ میں کوئی الیکٹران نہیں ہوتا اور اس لیے ایصال بالکل ممکن نہیں ہوتا۔ نوٹ کریں کہ توانائی اتنی بڑی ہے کہ الیکٹرانوں کو حرارتی اشتعال کے ذریعے گرفت بینڈ سے ایصال بینڈ میں مشتعل نہیں کیا جا سکتا۔ یہ حاجزوں کی صورت ہے۔

صورت III: یہ صورت شکل (c) 14.2 میں دکھائی گئی ہے۔ یہاں ایک متناہی لیکن خفیف فصل پائی جاتی ہے $(E_g < 3$ eV$)$۔ خفیف بینڈ فصل کی وجہ سے، کمرہ درجہ حرارت پر، گرفت بینڈ کے کچھ الیکٹران اتنی توانائی حاصل کر سکتے ہیں جو توانائی فصل کو عبور کرنے کے لیے کافی ہو اور ایصال بینڈ میں داخل ہو سکتے ہیں۔ یہ الیکٹران (حالانکہ ان کی تعداد کم ہوتی ہے) ایصالی بینڈ میں آ سکتے ہیں۔ اس لیے، نیم موصلوں کی مزاحمت اتنی زیادہ نہیں ہوتی جتنی حاجزوں کی ہوتی ہے۔

اس حصہ میں ہم نے دھاتوں، موصلوں اور نیم موصلوں کی موٹے طور پر درجہ بندی کی ہے۔ اگلے حصے میں آپ نیم موصلوں میں ہونے والے ایصالی عمل کے بارے میں سیکھیں گے۔

14.3 ذاتی نیم موصل (INTRINSIC SEMICONDUCTOR)

ہم Ge اور Si کی صورت لیتے ہیں، جو عام ترین صورت ہے اور جن کی لیٹس ساخت شکل 14.3 میں دکھائی گئی ہے۔ یہ ساختیں، ہیرے جیسی ساختیں کہلاتی ہیں۔ ہرایٹم چار قریب ترین پڑوسیوں سے گھرا ہوتا ہے۔ہم جانتے ہیں کہ Si اور Ge میں 4 گرفت الیکٹران ہوتے ہیں۔اس کی قلمی ساخت میں اس کا ہر ایٹم اپنے چاروں پڑوسی ایٹموں میں سے ہر ایک کو اپنے چاروں گرفت الیکٹرانوں میں سے ایک ایک الیکٹران بانٹتا ہے اور ہر پڑوسی ایٹم سے ایک ایک الیکٹران کا حصہ لیتا ہے۔ یہ ساجھا کیے ہوئے الیکٹران جوڑے ایک شریک گرفت بند بناتے ہیں۔سادہ طور پر اسے گرفت بند بھی کہتے ہیں۔دونوں بانٹے گئے الیکٹرانوں کو مانا جاسکتا ہے کہ وہ جن ایٹموں سے منسلک ہیں ان میں ایک سے دوسرے ایٹم پر آتے جاتے رہتے ہیں اور اس طرح انھیں مضبوطی سے باندھے رکھتے ہیں۔شکل 14.4 میں شکل 14.3 میں دکھائی گئی Si یا Ge ساخت کا 2-ابعادی اظہار دکھایا گیا ہے، جو شریک گرفت بند کو ضرورت سے زیادہ پرزور طریقے سے پیش کرتی ہے۔ اس میں ایک مثالی تصویر دکھائی گئی ہے، جس میں کوئی بند ٹوٹا نہیں ہے (اور تمام بند اپنی جگہ موجود ہیں)۔ایسی صورت نچلے درجات حرارت پر پیدا ہوتی ہے۔جیسے جیسے درجہ حرارت میں اضافہ ہوتا جاتا ہے،ان الیکٹرانوں کو حرارتی توانائی مہیا ہوجاتی ہے اور ان میں سے کچھ الیکٹران ٹوٹ کر باہر جاسکتے ہیں (آزاد الیکٹران بن سکتے ہیں اور ایصال میں حصہ لے سکتے ہیں)۔حرارتی توانائی موثر طور پر قلمی لیٹس میں چند ایٹموں کی ہی آئن سازی کرتی ہے اور بند میں ایک خلو (vacancy) پیدا کرتی ہے،جیسا کہ شکل (a) 14.5 میں دکھایا گیا ہے۔ وہ پڑوس (آس پاس کا مقام) جہاں سے آزاد الیکٹران (جس کا چارج $-q$ ہے) باہر آیا ہے ایک خلو چھوڑتا ہے جس کا موثر چارج ($+q$) ہے۔یہ موثر مثبت الیکٹرانی چارج والا خلو،سوراخ (hole) کہلاتا ہے۔سوراخ اس طرح برتاؤ کرتا ہے جیسے کہ وہ موثر مثبت چارج کا بظاہر آزاد ذرہ ہے۔



شکل 14.3: کاربن، سلی کون یا جرمنیم کے لیے سہ-ابعادی ہیرے-جیسی کرسٹل ساخت جس میں مطابق لیٹس درمیانی خالی جگہ a، 3.56, 5.43 اور 5.66 Å

ذاتی نیم موصلوں میں، آزاد الیکٹرانوں کی تعداد n_e ، سوراخوں کی تعداد n_h کے مساوی ہوتی ہے۔یعنی کہ

$$n_e = n_h = n_i \qquad (14.1)$$

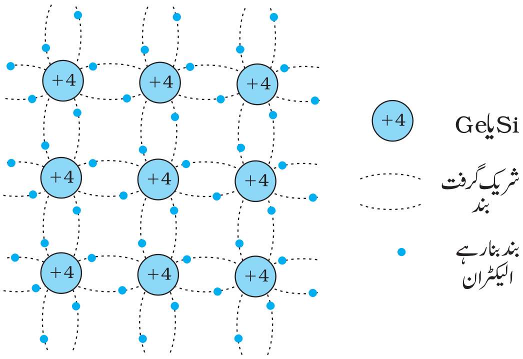
جہاں n_i ذاتی حامل ارتکاز (intrinsic carrier concentration) کہلاتی ہے۔

نیم موصلوں کی ایک یکتا خاصیت یہ ہے کہ ان میں الیکٹرانوں کے علاوہ، سوراخ بھی حرکت کرتے ہیں۔فرض کیجیے کہ مقام 1 پر ایک سوراخ ہے، جیسا کہ شکل (a)14.5 میں دکھایا گیا ہے۔سوراخوں کی حرکت کا تصور ہم اس طور پر کرسکتے ہیں، جیسا کہ شکل (b) 14.5 میں دکھایا گیا ہے۔ مقام 2 پر ایک شریک گرفت بند سے ایک الیکٹران خالی مقام 1 (سوراخ)

© NCERT not to be republished

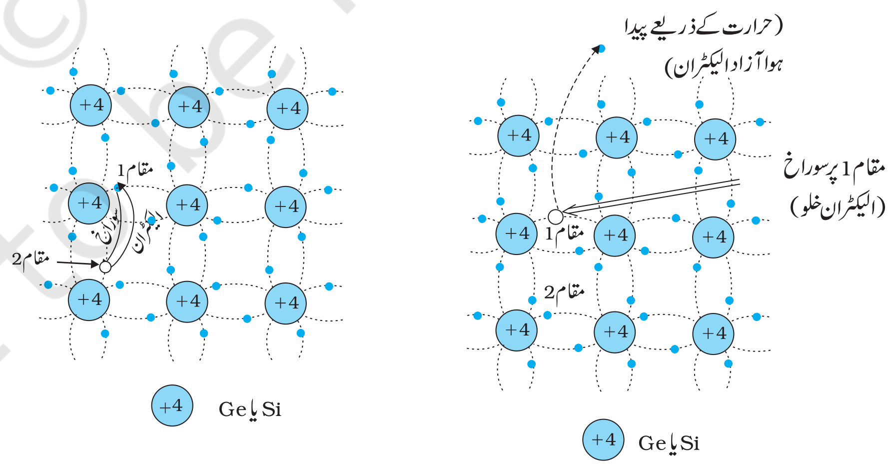
پر کود کر پہنچ سکتا ہے۔اس طرح کی چھلانگ کے بعد اب مقام 2 پر ایک سوراخ ہے اور مقام 1 پر اب ایک الیکٹران ہے۔اس لیے، بظاہر، سوراخ مقام 1 سے حرکت کر کے مقام 2 پر پہنچ گیا ہے۔نوٹ کریں کہ آغاز میں آزاد ہوا الیکٹران [شکل (a) 14.5] سوراخ کی حرکت کے اس عمل میں شامل نہیں ہے۔آزاد الیکٹران، ایصال الیکٹران کے بطور مکمل طور پر آزادانہ حرکت کرتا ہے اور ایک الیکٹران کرنٹ 'I_e' ایک لگائے گئے برقی میدان کے تحت، پیدا کرتا ہے۔یاد رکھیں کہ جب کرسٹل میں کہیں بھی کوئی خالی بند ہو تو سوراخ کی حرکت صرف بندھے ہوئے الیکٹرانوں کی اصل حرکت کو بیان کرنے کا ایک سہل طریقہ ہے۔ایک برقی میدان کے زیر عمل یہ سوراخ منفی مضمر کی جانب حرکت کرتے ہیں اور سوراخ کرنٹ I_h دیتے ہیں۔اس لیے کل کرنٹ I، الیکٹران کرنٹ I_e اور سوراخ کرنٹ I_h کا حاصل جمع ہے:

$$I = I_e + I_h \qquad (14.2)$$



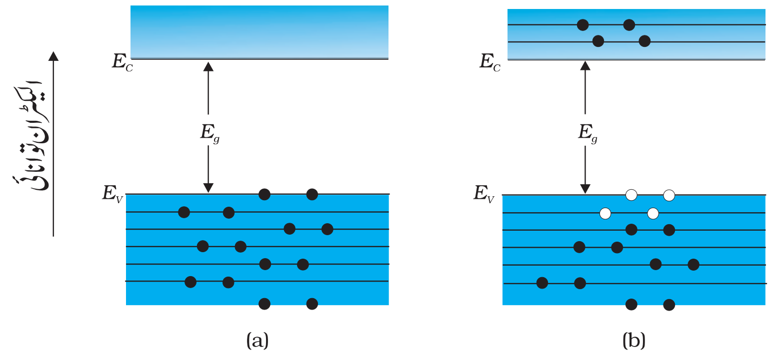
شکل 14.4: Si یا Ge کی ساخت کا دو ابعادی اظہار، جس میں نچلے درجہ حرارت پر شریک گرفت بند دکھائے گئے ہیں (تمام بند برقرار ہیں)۔ 4+ علامت Si یا Ge کے اندرونی قالبوں کی نشان دہی کرتی ہے۔

نوٹ کیا جا سکتا ہے کہ ایصال الیکٹرانوں اور سوراخوں کے پیدا ہونے کے عمل کے علاوہ ایک ہمہ وقتی عمل ''باز ترکیب'' (Re-Combination) بھی ہوتا ہے جس میں الیکٹران، سوراخ کے ساتھ دوبارہ مل جاتا ہے۔حالت توازن میں، چارج حاملوں کی پیدا ہونے کی شرح، باز ترکیب کی شرح کے مساوی ہوتی ہے۔باز ترکیب، ایک الیکٹران کے ایک سوراخ سے تصادم کرنے کی وجہ سے ہوتی ہے۔



شکل 14.5: (a) درمیانی درجات حرارت پر حرارتی توانائی کی وجہ سے مقام 1 پر سوراخ اور ایصال الیکٹران بننے کا خاکہ ماڈل (b) ایک سوراخ کی ممکنہ حرارتی حرارت کا سادہ کیا ہوا اظہار۔ نچلی بائیں جانب کے شریک گرفت بند (مقام 2) سے الیکٹران پچھلے سوراخ مقام 1 پر جاتا ہے، اور اپنے مقام پر ایک سوراخ چھوڑ دیتا ہے جو مقام 1 سے مقام 2 پر سوراخ کی ظاہرہ حرکت کی نشان دہی کرتا ہے۔

© NCERT not to be republished



شکل 14.6 (a) T=OK پر ایک ذاتی نیم موصل، حاجز کی طرح برتاؤ کرتا ہے۔ (b) T>OK پر، چار حرارتی طریقے سے بنے چار الیکٹران۔ بھرے ہوئے دائرے (•) الیکٹرانوں کی اور خالی دائرے (○) سوراخوں کی نمائندگی کرتے ہیں۔

ایک ذاتی نیم موصل، T=OK پر ایک حاجز کی طرح برتاؤ کرتا ہے، جیسا کہ شکل (a) 14.6 میں دکھایا گیا ہے۔ اعلا درجات حرارت پر (T>OK) حرارتی توانائی ہی ہے جو کچھ الیکٹرانوں کو گرفت بینڈ سے ایصال بینڈ میں منتقل کرتی ہے۔ یہ حرارتی طور پر مشتعل الیکٹران، T>OK پر، ایصال بند کو جزوی طور پر بھرتے ہیں۔ اس لیے ایک ذاتی نیم موصل کی توانائی ۔بند ڈائیگرام شکل 14.6 (b) میں دکھائی گئی ڈائیگرام ہوگی۔ یہاں، ایصال بینڈ میں کچھ الیکٹران دکھائے گئے ہیں۔ یہ گرفت بینڈ سے آئے ہیں اور وہاں مساوی تعداد میں سوراخ چھوڑ آئے ہیں۔

مثال 14.1

مثال 14.1: C، Si اور Ge کی لیٹس ساخت یکساں ہے۔ پھر C حاجز کیوں ہے، جب کہ Si اور Ge ذاتی نیم موصل ہیں؟

حل: C، Si اور Ge کے 4 بندش الیکٹران، حسب ترتیب، دوسرے، تیسرے اور چوتھے مدار میں ہوتے ہیں۔ اس لیے ان ایٹموں سے ایک الیکٹران باہر نکالنے کے لیے درکار توانائی (یعنی کہ، آئن کاری توانائی E_g) Ge کے لیے سب سے کم ہوگی، اس کے بعد Si کے لیے اور C کے لیے سب سے زیادہ ہوگی۔ اس لیے Ge اور Si میں ایصال کے لیے دستیاب آزاد الیکٹرانوں کی تعداد قابل لحاظ ہوتی ہے جب کہ C میں قابل نظرانداز حد تک خفیف ہوتی ہے۔

14.4 بیرونی نیم موصل (EXTRINSIC SEMICONDUCTOR)

ایک ذاتی نیم موصل کی ایصالیت اس کے درجہ حرارت کے تابع ہوتی ہے، لیکن کمرہ درجہ حرارت پر اس کی ایصالیت بہت ادنیٰ ہوتی ہے۔ اس لیے ان نیم موصلوں کو براہِ راست استعمال کرکے کوئی اہم الیکٹرانک آلات نہیں تیار کیے جا سکتے۔ اس لیے ان کی ایصالیت میں اضافہ کرنے کی ضرورت پیش آتی ہے۔ یہ ملاوٹوں (impurities) کو استعمال کرکے کیا جا سکتا ہے۔

جب ایک مناسب ملاوٹ کی بہت خفیف مقدار، فرض کیجیے فی دس لاکھ میں چند حصے،، ایک خالص نیم موصل میں ملائی جاتی ہے تو نیم موصل کی ایصالیت میں کئی گنا اضافہ ہوجاتا ہے۔ ایسے نیم موصلوں کو بیرونی نیم موصل یا ملاوٹ نیم موصل (impurity semiconductor) کہتے ہیں۔ ایک پسندیدہ ملاوٹ کا جان بوجھ کر ملایا جانا ''ڈوپنگ'' (doping) (لفظی معنی: نشہ ملانا) کہلاتا ہے اور ملاوٹ کے ایٹم ڈوپنگ کار (Dopants) کہلاتے ہیں۔ ایسی مادی شے کو ڈوپ شدہ نیم موصل

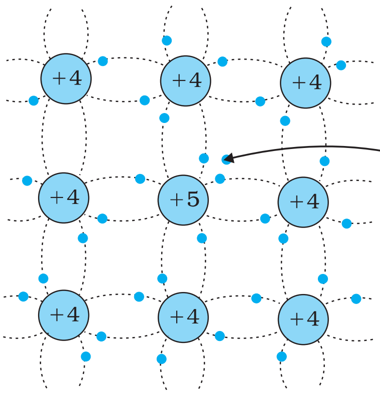
© NCERT not to be republished

(Doped Semiconductor) بھی کہتے ہیں۔ ڈوپنگ کار کو ایسا ہونا چاہیے کہ وہ بنیادی اصلی نیم موصل لیٹس کو بگاڑنے نہیں۔ یہ کرسٹل میں بنیادی نیم موصل کے ایٹموں کے بہت ہی کم مقامات کو گھیرتا ہے۔ ایسی صورت حاصل کرنے کے لیے ایک لازمی شرط یہ ہے کہ ڈوپ کار اور نیم موصل کے ایٹموں کے سائز تقریباً یکساں ہونے چاہئیں۔

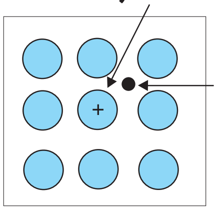
چو گرفتہ (tetravalent) Si یا Ge میں ڈوپنگ کے لیے دو قسم کے ڈوپنگ کار استعمال کیے جاتے ہیں:

(i) پنج گرفتہ [Pentavalent] (گرفت 5)]: جیسے آرسینک (As)، اینٹی منی (Sb) فوسفورس (P) وغیرہ

(ii) سہ گرفتہ [trivalent] (گرفت 3)]: جیسے انڈیم (In)، بورن (B)، المونیم (Al) وغیرہ



(a)



(b)

شکل 14.7 (a): چو گرفتی Si یا Ge کے لیے ڈوپ کیا گیا پنج گرفتی عطا کار ایٹم (As، Sb، P وغیرہ)، جس سے n - قسم نیم موصل حاصل ہوتا ہے۔ اور (b) n- قسم مادی شے کا عام طور سے استعمال کیا جانے والا خاکہ اظہار، جس میں صرف قائم مقام عطا کاروں کے غیر متحرک قالب ایک اضافی موثر مثبت چارج اور اس سے منسلک اضافی الیکٹران کے ساتھ دکھائے گئے ہیں۔

اب ہم اس سے بحث کریں گے کہ ڈوپنگ کس طرح نیم موصلوں میں چارج حاملوں کی تعداد (اور اس طرح ان کی ایصالیت) تبدیل کر دیتی ہے۔ Si یا Ge دوری جدول کے چوتھے گروپ سے تعلق رکھتے ہیں، اس لیے ہم ڈوپنگ کار عنصر اس کے قریبی گروپ، پانچویں یا تیسرے گروپ، سے منتخب کرتے ہیں اور اس طرح اس بات کا خیال رکھتے ہیں کہ ڈوپنگ کار ایٹم کا سائز، Si یا Ge ایٹم کے سائز کے تقریباً یکساں ہو۔ دلچسپ بات یہ ہے کہ Si اور Ge میں پنج گرفتی اور سہ گرفتی ڈوپنگ کار شامل کرنے سے دو بالکل مختلف قسم کے نیم موصل حاصل ہوتے ہیں، جیسا کہ ذیل میں بحث کی گئی ہے۔

(i) n-قسم نیم موصل *(n-type semiconductor)*

فرض کیجیے ہم Si یا Ge کو ایک پنج گرفتی عنصر سے ڈوپ کرتے ہیں، جیسا کہ شکل 14.7 میں دکھایا گیا ہے۔ جب ایک +5 گرفت والے عنصر کا ایٹم، Si کی کرسٹل لیٹس میں ایک ایٹم کی جگہ گھیرتا ہے، تو اس کے الیکٹرانوں میں سے چار الیکٹران تو چار سلی کون پڑوسیوں سے بند بناتے ہیں جب کہ پانچواں الیکٹران اپنے موروثی ایٹم سے کمزور طور پر بندھا رہتا ہے۔ ایسا اس لیے ہوتا ہے کیوں کہ بند بنانے میں حصہ لینے والے چاروں الیکٹرانوں کو یہ پانچواں الیکٹران ایٹم کے موثر قالب کے بطور لیتا ہے۔ نتیجتاً اس الیکٹران کو آزاد کرانے کے لیے درکار آئن کاری توانائی بہت خفیف ہوتی ہے اور کمرہ درجہ حرارت پر بھی یہ الیکٹران نیم موصل کی لیٹس میں حرکت کرنے کے لیے آزاد ہوتا ہے۔ مثلاً، جرمنیم کے لیے اس الیکٹران کو اس کے ایٹم سے علاحدہ کرنے کے لیے درکار توانائی: ~ 0.01 eV ہے اور سلی کون کے لیے 0.05 eV، جب کہ اس کے مقابلے میں، ممنوع بینڈ کو عبور کرنے کے لیے درکار توانائی (جرمنیم کے لیے تقریباً 0.72 eV اور سلی

© NCERT not to be republished

کون کے لیے تقریباً 1.1 eV)، کمرہ درجۂ حرارت پر، ذاتی نیم موصلوں میں کہیں زیادہ ہے۔ اس طرح، پنچ گرفتی ڈوپنگ کار، ایصال کے لیے ایک اضافی الیکٹران عطا کرتا ہے اور اس لیے اسے عطا کار ملاوٹ (donor impurity) کہتے ہیں۔ ڈوپنگ کار ایٹموں کے ذریعے ایصال کے لیے مہیا کیے گئے الیکٹرانوں کی تعداد، ڈوپنگ سطح کے بہت زیادہ تابع ہے اور محصور درجہ حرارت میں ہونے والے کسی بھی اضافے کے غیر تابع ہے۔ دوسری طرف، Si ایٹموں سے پیدا ہوئے آزاد الیکٹرانوں کی تعداد (سوراخوں کی مساوی تعداد کے ساتھ) میں درجہ حرارت کے ساتھ معمولی سا اضافہ ہوتا ہے۔

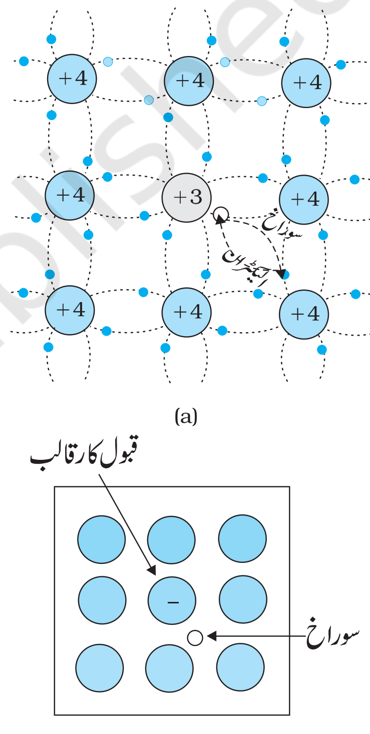
ایک ڈوپنگ شدہ نیم موصل میں ایصال الیکٹرانوں کی کل تعداد n_e، عطا کاروں کے ذریعے مہیا کیے گئے الیکٹران اور ذاتی طور پر پیدا ہوئے الیکٹرانوں پر مشتمل ہوتی ہے جب کہ سوراخوں کی تعداد n_h صرف ذاتی ماخذ (source) کی وجہ سے پیدا ہوئے سوراخوں پر مشتمل ہوتی ہے۔ لیکن سوراخوں کے باز اتحاد کی شرح میں، الیکٹرانوں کی تعداد میں اضافہ کی وجہ سے، اضافہ ہوجائے گا۔ نتیجتاً سوراخوں کی تعداد مزید کم ہوجائے گی۔

اس لیے، ڈوپنگ کی مناسب سطح کے ساتھ، ایصالی الیکٹرانوں کی تعداد کو سوراخوں کی تعداد سے بہت زیادہ کیا جاسکتا ہے۔ اس لیے ایک بیرونی نیم موصل میں، جسے پنچ گرفتی ملاوٹ کے ساتھ ڈوپ کیا گیا ہو، الیکٹران اکثریتی حامل ہوجاتے ہیں اور سوراخ اقلیتی حامل۔ اس لیے یہ نیم موصل، n– قسم نیم موصل کہلاتے ہیں۔ n– قسم نیم موصلوں کے لیے:

$$n_e >> n_h \qquad (14.3)$$

(ii) p– قسم نیم موصل (p–type semiconductor)

یہ اس وقت حاصل ہوتا ہے جب Si یا Ge میں ایک سہ گرفتی ملاوٹ، جیسے Al، B، In وغیرہ، کی ڈوپنگ کی جاتی ہے۔ ڈوپنگ کار میں Si یا Ge کے مقابلے میں ایک الیکٹران کم ہے، اس لیے یہ ایٹم اپنے تین پڑوسی Si ایٹموں سے شریک گرفت بند بنا سکتا ہے لیکن چوتھے Si ایٹم کو پیش کرنے کے لیے اس کے پاس کوئی الیکٹران نہیں ہے۔ اس لیے چوتھے پڑوسی اور سہ گرفتی ایٹم کے درمیان بند میں ایک خلو یا سوراخ ہوتا ہے، جیسا کہ شکل 14.8 میں دکھایا گیا ہے۔ کیوں لیٹس میں پڑوسی Si ایٹم کو سوراخ کی جگہ ایک الیکٹران چاہیے ہوتا ہے، اس لیے ایٹم کے باہری مدار سے ایک الیکٹران اس خلو کو پر کرنے کے لیے آسکتا ہے اور خود اپنے مقام پر ایک خلو یا سوراخ چھوڑ سکتا ہے۔ اس لیے سوراخ، ایصال کے لیے دستیاب ہے۔ نوٹ کریں کہ سہ گرفتی بیرونی ایٹم، موثر طور پر منفی چارج شدہ ہوجاتا ہے جب وہ چوتھا الیکٹران پڑوسی Si ایٹم سے بانٹتا ہے۔ اس لیے p– قسم مادی شے کے ڈوپنگ کار ایٹم کو ایک منفی چارج کا قالب معہ اس سے منسلک سوراخ، مانا جاسکتا ہے، جیسا کہ شکل (b) 14.8 میں دکھایا گیا ہے۔ یہ ظاہر ہی ہے کہ ایک قبول کار (acceptor) ایٹم ایک



شکل 14.8 (a): چوگرفتی Si یا Ge لیٹس میں ڈوپ کیا گیا سہ گرفتی قبول کار ایٹم (In, Al, B وغیرہ) p– قسم نیم موصل فراہم کرتا ہے۔ (b) p– قسم مادی شے کا عام طور سے استعمال ہونے والا خاکہ اظہار، جس میں صرف قائم مقام قبول کار کا غیر متحرک قالب ایک موثر اضافی منفی چارج اور اس سے منسلک سوراخ دکھائے گئے ہیں۔

سوراخ مہیا کرتا ہے۔ یہ سوراخ ان سوراخوں کے علاوہ ہیں جو ذاتی طور پر پیدا ہوتے ہیں، جب کہ ایصال الیکٹرانوں کا ماخذ صرف ذاتی پیداوار ہے۔ اس لیے، اس طرح کی مادی شے کے لیے، سوراخ اکثریتی حامل ہیں اور الیکٹران اقلیتی حامل ہیں۔ اس لیے سہ گرفتی ملاوٹ سے ڈوپ کیے گئے بیرونی نیم موصل، p- قسم نیم موصل کہلاتے ہیں۔ p- قسم نیم موصلوں کے لیے، بازاتحاد کا عمل، ذاتی طور پر پیدا ہوئے الیکٹرانوں کی تعداد n_i کو کم کر کے n_e کر دیتا ہے۔ p- قسم نیم موصلوں کے لیے

$$n_h >> n_e \qquad (14.4)$$

نوٹ کریں کہ کرسٹل مجموعی چارج معادلیت برقرار رکھتا ہے کیوں کہ اضافی چارج حاملوں کا چارج، لیٹس میں آئن شدہ قالبوں کے چارج کے بالکل مساوی اور مخالف ہوتا ہے۔

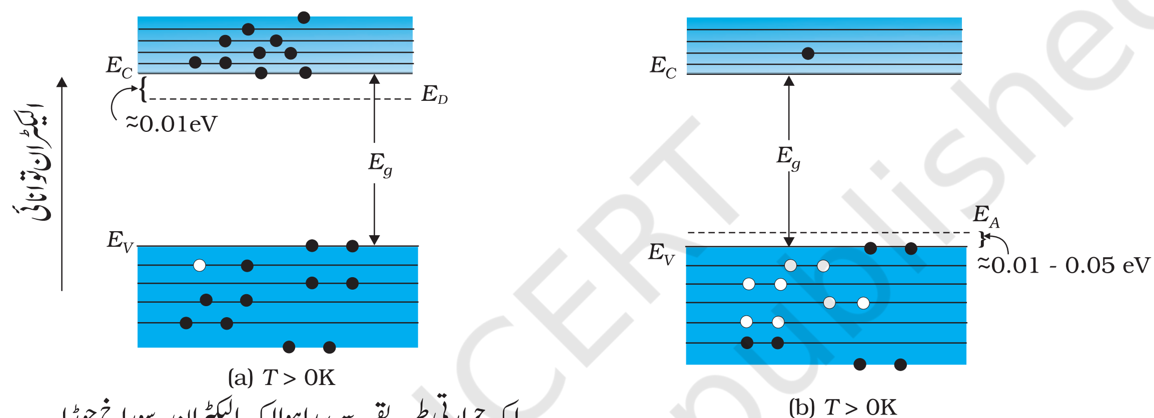
بیرونی نیم موصلوں میں، اکثریتی کرنٹ حاملوں کی زیادتی کی وجہ سے، حرّی طریقے سے پیدا ہوئے اقلیتی چارج حاملوں کے لیے اکثریتی حاملوں سے مل سکنے کا اور اس طرح فنا ہو جانے کا امکان زیادہ ہوتا ہے۔ اس لیے، ڈوپنگ کار ایک قسم کے کرنٹ حاملوں کی ایک بڑی تعداد مہیا کر کے، جو اکثریتی حامل بن جاتے ہیں، بالواسطہ طور پر اقلیتی حاملوں کے ذاتی ارتکاز کو کم کرنے میں مدد کرتا ہے۔

نیم موصل کی توانائی بینڈ ساخت ڈوپنگ سے متاثر ہوتی ہے۔ بیرونی نیم موصلوں کی صورت میں، عطا کار ملاوٹوں اور قبول کار ملاوٹوں کی وجہ سے اضافی توانائی حالتیں (بالترتیب، E_D اور E_A) بھی پائی جاتی ہیں۔ n- قسم Si نیم موصل کی توانائی بینڈ ڈائیگرام میں، عطا کار توانائی منزل E_D، ایصال بینڈ کی تلی (bottom)، E_D سے ذرا سا نیچے ہوتی ہے اور اس منزل سے الیکٹران، خفیف توانائی مہیا کیے جانے پر بھی، ایصال بینڈ میں چلے جاتے ہیں۔ کمرہ درجہ حرارت پر زیادہ تر عطا کار ایٹموں کی آئن سازی ہو جاتی ہے۔ Si کے بہت ہی کم ایٹموں ($\sim 10^{12}$) کی آین سازی ہوتی ہے۔ اس لیے ایصال بینڈ میں آنے والے زیادہ تر الیکٹران عطا کار ملاوٹوں سے آتے ہیں، جیسا کہ شکل (a) 14.9 میں دکھایا گیا ہے۔ اسی طرح، p- قسم نیم موصلوں کے لیے، قبول کار توانائی منزل E_A، گرفت بینڈ کی سب سے اوپری سطح E_V سے ذرا سا اوپر ہوتی ہے، جیسا کہ شکل 14.9(b) میں دکھایا گیا ہے۔ توانائی کی بہت خفیف مقدار فراہم کرنے پر گرفت بینڈ سے ایک الیکٹران، منزل E_A پر پہنچ سکتا ہے اور قبول کار کی منفی آئن سازی کر سکتا ہے۔ (متبادل طور پر، ہم یہ بھی کہہ سکتے ہیں کہ توانائی کی بہت خفیف مقدار فراہم کرنے پر، منزل E_A سے سوراخ، نیچے ڈوب کر گرفت بینڈ میں آ جاتا ہے۔ باہری توانائی حاصل کرنے پر الیکٹران اوپر اٹھ جاتے ہیں اور سوراخ نیچے گر جاتے ہیں) کمرہ درجہ حرارت پر زیادہ تر قبول کار ایٹموں کی آئن سازی ہو جاتی ہے اور اس طرح گرفت بینڈ میں سوراخ رہ جاتے ہیں۔ اس لیے، کمرہ درجہ حرارت پر، گرفت بینڈ میں سوراخوں کی کثافت، زیادہ تر بیرونی نیم موصل میں ملاوٹ کی وجہ سے ہوتی ہے۔ ایک نیم موصل میں، حرارتی توازن کی حالت میں، الیکٹران اور سوراخ کے ارتکاز دیے جاتے ہیں۔

© NCERT not to be republished

$$n_e\, n_h = n_i^2 \quad (14.5)$$

حالاں کہ مندرجہ بالا بیان بڑی حدتک تقریبی ہے اور مفروضوں پر مبنی ہے، پھر بھی اس سے دھاتوں، حاجزوں اور نیم موصلوں (بیرونی اور ذاتی) کے درمیان فرق کو سادہ طور پر سمجھنے میں مدد ملتی ہے۔ C، Si اور Ge کی مزاحمیت (resistivity) میں فرق ان کے ایصال بینڈ اور گرفت بینڈ کے درمیان توانائی فصل پر منحصر ہے۔ C (ہیرا)، Si اور Ge کے لیے یہ توانائی فصل، بالترتیب، ہیں: 5.4 eV، 1.1eV اور 0.7 eV۔ Sn بھی گروپ IV عنصر ہے لیکن یہ ایک دھات ہے، کیوں کہ اس میں توانائی فصل O eV ہے۔



شکل 14.9: توانائی بینڈ (a) T > OK پر n-قسم نیم موصل کے (b) T > OK پر p-قسم نیم موصل کے

مثال 14.2: فرض کیجیے ایک خالص Si کرسٹل میں 5×10^{28} ایٹم فی m^{-3} ہیں۔ اسے پینٹ گرفتی As کے 1 ppm ارتکاز سے ڈوپ کیا گیا ہے۔ الیکٹرانوں اور سوراخوں کی تعداد کا حساب لگایئے۔

دیا ہے: $n_i = 1.5 \times 10^{16}\ m^{-3}$

حل: نوٹ کریں کہ حرارتی طریقے پر پیدا ہوئے الیکٹرانوں کی تعداد $(n_i \sim 10^{16}\ m^{-3})$، ڈوپنگ کے ذریعے پیدا ہوئے الیکٹرانوں کی تعداد کے مقابلے میں قابل نظرانداز حدتک خفیف ہے۔ اس لیے:

$$n_e \approx N_D$$

کیوں کہ، سوراخوں کی تعداد $n_e\, n_h = n_i^2$

$$n_h = \frac{(2.25 \times 10^{32})}{(5 \times 10^{22})}$$

$$\sim 4.5 \times 10^{9}\ m^{-3}$$

مثال 14.2

14.5 پی۔این جنکشن (p–n JUNCTION)

ایک p-n جنکشن کئی نیم موصل آلات، جیسے ڈایوڈ، ٹرانسسٹر وغیرہ، کا بنیادی جز ترکیبی ہے۔ جنکشن کے برتاؤ کا واضح فہم دیگر نیم موصل آلات کی کارکردگی کا تجزیہ کرسکنے کے لیے بہت اہم ہے۔ اب ہم یہ سمجھنے کی کوشش کریں گے کہ ایک جنکشن کیسے تشکیل پاتا ہے اور باہری اطلاقی وولٹیج [جسے میلان (Bias) بھی کہتے ہیں] کے زیر اثر ایک جنکشن کیسے برتاؤ کرتا ہے۔

14.5.1 پی۔این جنکشن کی تشکیل (p–n Junction formation)

ایک پتلا p– قسم سلی کون (p–Si) نیم موصل ورق (ویفر wafer) لیجیے۔ پنج گرفتی ملاوٹ کی ایک نہایت درست خفیف مقدار شامل کرکے، p–Si ویفر کے ایک جز کو n–Si میں تبدیل کیا جاسکتا ہے۔ ایسے کئی طریقے ہیں جن کے ذریعے ایک نیم موصل تشکیل دیا جاسکتا ہے۔ ویفر میں اب ایک p– علاقہ ہے اور ایک n– علاقہ ہے اور p– اور n– علاقوں کے درمیان ایک فلزکاری (metallurgical) جنکشن ہے۔

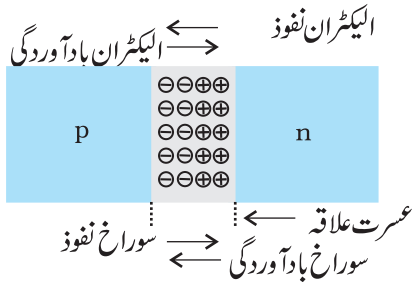
ایک p–n جنکشن کی تشکیل کے دوران دو اہم عمل ہوتے ہیں: نفوذ (Diffusion) اور بادآوردگی (Drift)۔ ہم جانتے ہیں کہ ایک n– قسم نیم موصل میں، الیکٹرانوں کا ارتکاز (الیکٹرانوں کی تعداد فی اکائی حجم) سوراخوں کے ارتکاز سے زیادہ ہوتا ہے۔ اسی طرح ایک p– قسم نیم موصل میں سوراخوں کا ارتکاز الیکٹرانوں کے ارتکاز سے زیادہ ہوتا ہے۔ ایک p – n جنکشن کی تشکیل کے دوران، p – اور n – اطراف میں ارتکاز ڈھلان کی وجہ سے، سوراخ p – جانب سے n– جانب (p→n) نفوذ کرتے ہیں اور الیکٹران n– جانب سے p– جانب نفوذ کرتے ہیں (n–p)۔ چارج حاملوں کی اس حرکت کی وجہ سے جنکشن کے سروں کے درمیان ایک نفوذ کرنٹ پیدا ہوتا ہے۔

جب ایک الیکٹران n→p نفوذ کرتا ہے تو یہ n– جانب ایک آئن شدہ عطا کار چھوڑ آتا ہے۔ یہ آئن شدہ عطا کار (مثبت چارج) غیر متحرک ہوتا ہے۔ کیوں کہ یہ اپنے اردگرد کے ایٹموں سے بندھا ہوتا ہے۔ جیسے جیسے الیکٹران n→P نفوذ کرنا جاری رکھتے ہیں، مثبت چارج کی ایک تہہ، (مثبت چارج- فضا علاقہ) جنکشن کی n– جانب بنتی جاتی ہے۔

اسی طرح جب n→p ایک سوراخ نفوذ کرتا ہے، جس کی وجہ ارتکاز ڈھلان ہے، تو یہ اپنے پیچھے ایک آئن شدہ قبول کار (منفی چارج) چھوڑ آتا ہے جو کہ غیر متحرک ہوتا ہے۔ جیسے جیسے سوراخ نفوذ جاری رکھتے ہیں، منفی چارج کی ایک تہہ (یا منفی چارج -فضا علاقہ)، جنکشن کی p– جانب بنتی جاتی ہے۔ یہ فضا - چارج علاقہ، جو جنکشن کے دونوں جانب ہوتا ہے، مل کر عسرت علاقہ (Depletion region) کہلاتا ہے کیوں کہ جنکشن کے سروں کے درمیان آغازی حرکت میں حصہ لینے والے الیکٹران اور سوراخ اس علاقے کو اس کے آزاد چارجوں سے خالی کردیتے ہیں (شکل 4.10)۔ عسرت علاقہ کی موٹائی ایک مائیکرومیٹر کے دسویں حصے کے درجے کی ہوتی ہے۔ جنکشن کی n– جانب مثبت فضا-چارج علاقہ کی وجہ سے اور جنکشن کی p– جانب منفی فضا- چارج علاقے کی وجہ سے ایک برقی میدان پیدا ہوتا

پی–این جنکشن ڈایوڈ کی تشکیل اور عمل
http://www.mtmi.vu.lt/pfk/funkc_dariniai/diod/p-n_devices.htm

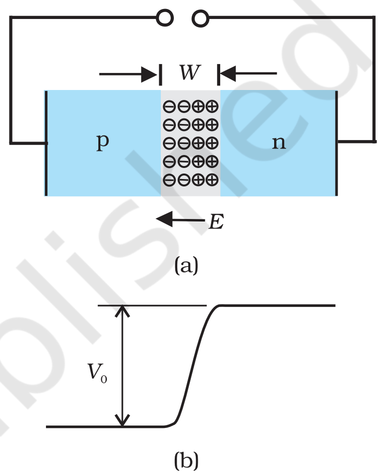
© NCERT not to be republished



شکل14.10: p-n جنکشن تشکیل پانے کا عمل

ہے جس کی سمت مثبت چارج سے منفی چارج کی جانب ہوتی ہے۔اس میدان کی وجہ سے جنکشن کی p-جانب کا الیکٹران n-جانب حرکت کرتا ہے اور جنکشن کی n-جانب کا ایک سوراخ p-جانب حرکت کرتا ہے۔ برقی میدان کی وجہ سے چارج حاملوں کی حرکت بادآوردگی (drift) کہلاتی ہے۔اس طرح ایک بادآوردگی کرنٹ، جو سمت میں نفوذ کرنٹ کے مخالف ہوتا ہے، بہنا شروع ہوجاتا ہے (شکل 14.10)۔

شروعات میں،نفوذ کرنٹ زیادہ ہوتا ہے اور بادآوردگی کرنٹ کم ہوتا ہے۔ جیسے جیسے نفوذ کا عمل جاری رہتا ہے،فضا-چارج علاقے جنکشن کے دونوں جانب، وسیع ہوتے جاتے ہیں، جس سے برقی میدان کی طاقت میں اضافہ ہوتا جاتا ہے اور اس لیے بادآوردگی کرنٹ بڑھتا جاتا ہے۔ یہ عمل جاری رہتا ہے یہاں تک کہ بادآوردگی کرنٹ ،نفوذ کرنٹ کے مساوی ہوجاتا ہے۔اس طرح ایک p-n جنکشن تشکیل پاتا ہے۔ایک p-n جنکشن میں، حالت توازن میں کوئی کرنٹ نہیں ہوتا۔



شکل 14.11: (a) حالت توازن میں (v=0) ایک ڈایوڈ (b) بغیر کسی میلان کے تحت روک مضمر

n-علاقے سے الیکٹرانوں کا زیاں اور p-علاقے میں الیکٹرانوں کے حصول کی وجہ سے دونوں علاقوں کے جنکشن کے سروں کے درمیان ایک مضمر فرق پیدا ہوجاتا ہے۔اس مضمر کی قطبیت ایسی ہوتی ہے کہ وہ حاملوں کے مزید بہاؤ کی مخالفت کرتی ہے تاکہ ایک توازن کی حالت رہ سکے۔شکل 14.11 میں حالت توازن میں p-n جنکشن اور جنکشن کے سروں کے درمیان مضمر دکھایا گیا ہے۔n-مادی شے نے الیکٹران ضائع کیے ہیں جب کہ p-مادی شے نے الیکٹران حاصل کیے ہیں۔اس لیے p-مادی شے کی مناسبت سے n-مادی شے مثبت ہے۔کیوں کہ یہ مضمر n-علاقے سے p-علاقے میں الیکٹرانوں کی حرکت روکنے کی کوشش کرتا ہے،اسے اکثر روک مضمر (Barrier Potential) کہتے ہیں۔

مثال 14.3

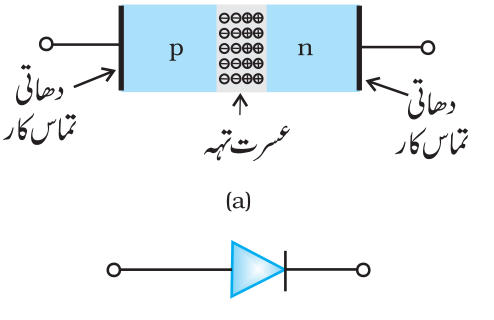
مثال 14.3: کیا ہم p-قسم نیم موصل کی ایک سل کو n-قسم نیم موصل کی ایک سل سے طبعی طور پر جوڑ کر p-n جنکشن حاصل کرسکتے ہیں؟

حل: نہیں! کوئی بھی سل (slab) چاہے وہ کتنی چپٹی (flat) بھی کیوں نہ ہو،اس میں کرسٹل کے ایٹموں کی درمیانی خالی جگہ (~2 to 3 Å) سے زیادہ کھردراپن ہوگا اور اس لیے ایٹمی سطح پر مستقل تماس ممکن نہیں ہے۔ بہہ رہے چارج حاملوں کے لیے جنکشن ایک عدم تسلسل (Discontinuity) کے بطور برتاؤ کرے گا۔

14.6 نیم موصل ڈایوڈ (SEMICONDUCTOR DIODE)

ایک نیم موصل ڈایوڈ [شکل (a) 14.12] بنیادی طور پر ایک p-n جنکشن ہے جس کے سروں پر بیرونی وولٹیج کا اطلاق کرنے کے لیے دھاتی تماس کار لگے ہوتے ہیں۔ یہ ایک دو-ٹرمینل آلہ ہے۔ایک p-n جنکشن کو علامتی طور پر ایسے ظاہر کرتے ہیں جیسے شکل (b) 14.12 میں دکھایا گیا ہے۔

© NCERT not to be republished



شکل 14.12:(a) نیم موصل ڈایوڈ (b) p–n جنکشن ڈایوڈ کی علامت

تیر کے نشانوں کی سمت کرنٹ کی قرارداد کے مطابق دی جانے والی (conventional) سمت کو ظاہر کرتی ہیں (جب کہ ڈایوڈ پیش مائل ہے)۔ حالت توازن مضمر کو ڈایوڈ کے سروں کے درمیان ایک بیرونی وولٹیج V کا اطلاق کر کے تبدیل کیا جا سکتا ہے۔ p–n جنکشن ڈایوڈ کی توازن حالت (بغیر میلان کے) شکل (a) 14.11 اور (b) میں دکھائی گئی ہے۔

14.6.1 پیش مائل پی۔این جنکشن ڈایوڈ (p-n junction diode under forward bias)

جب ایک نیم موصل ڈایوڈ کے سروں کے درمیان ایک بیرونی وولٹیج V کا اطلاق اس طور پر کیا جاتا ہے کہ p–علاقہ کو بیٹری کے مثبت ٹرمینل سے منسلک کیا جاتا ہے اور n–جانب کو منفی ٹرمینل سے (شکل (a) 14.13) تو یہ پیش مائل کہلاتا ہے۔

اطلاقی وولٹیج کا زیادہ تر حصہ عسرتی علاقے کے سروں کے درمیان ہوتا ہے اور جنکشن کے p–جانب اور n–جانب کے سروں کے درمیان یہ وولٹیج قابل نظر انداز ہوتی ہے۔ (ایسا اس لیے ہوتا ہے کیوں کہ عسرت علاقے۔ایسا علاقہ جس میں کوئی چارج نہیں ہیں – کی مزاحمت، n–جانب اور p–جانب کی مزاحمت کے مقابلے میں بہت زیادہ ہوتی ہے) اطلاقی وولٹیج کی سمت، اندر قائم ہوئے مضمر V_0 کی سمت کے مخالف ہوتی ہے۔ نیتجتاً، عسرت علاقہ کی چوڑائی کم ہوجاتی ہے اور رکاوٹ کی اونچائی بھی کم ہوجاتی ہے [شکل (b) 14.13]۔ پیش میلان کے تحت موثر رکاوٹ اونچائی $(V_0 - V)$ ہے۔

اگر لگائی گئی وولٹیج کی قدر خفیف ہے، تو رکاوٹ مضمر بھی توازن قدر سے تھوڑا سا کم ہوگا اور مادی شے میں حاملوں کی صرف ایک خفیف تعداد — وہ حامل جو سب سے اوپری توانائی منزلوں میں ہوں گے – کی ہی اتنی توانائی ہوگی کہ وہ جنکشن کو عبور کر سکیں۔ اس لیے کرنٹ کی قدر بھی خفیف ہوگی۔ اگر ہم لگائی گئی وولٹیج کی قدر میں قابل لحاظ اضافہ کر دیں تو رکاوٹ اونچائی کم ہوجائے گی اور زیادہ حاملوں کی توانائی درکار توانائی سے زیادہ ہوجائیگی۔ اس لیے کرنٹ میں اضافہ ہوجائے گا۔

لگائی گئی وولٹیج کی وجہ سے، n–جانب سے الیکٹران، عسرت–علاقہ کو عبور کر لیتے ہیں اور p–جانب پہنچ جاتے ہیں (جہاں وہ اقلیتی حامل ہیں)۔ اسی طرح p–جانب سے سوراخ، جنکشن کو پار کر لیتے ہیں اور n–جانب پہنچ جاتے ہیں (جہاں وہ اقلیتی حامل ہیں) — پیش میلان کے تحت ہونے والا یہ عمل اقلیتی حامل داخل (minority carrier injection) کہلاتا ہے۔ جنکشن حد پر (دونوں طرف)، اقلیتی حاملوں کا ارتکاز، جنکشن سے زیادہ فاصلوں کے مقامات پر ان کے ارتکاز کے مقابلے سے قابل لحاظ حد تک بڑھ جاتا ہے۔

اس ارتکاز ڈھلان کی وجہ سے، p–جانب داخل کیے گئے الیکٹرانوں کا، p–جانب کے جنکشن کنارے سے

p-جانب کے دوسرے سرے میں، نفوذ ہوجاتا ہے (شکل 14.14)۔ دونوں جانب چارج حاملوں کی اس حرکت سے کرنٹ پیدا ہوتا ہے۔ کل ڈائیوڈ پیش کرنٹ، سوراخ نفوذ کرنٹ اور الیکٹران نفوذ کی وجہ سے پیدا ہونے والے، قرارداد کے مطابق، کرنٹ کا حاصل جمع ہوتا ہے۔ اس کرنٹ کی عددی قدر عموماً mA کے درجہ کی ہوتی ہے۔

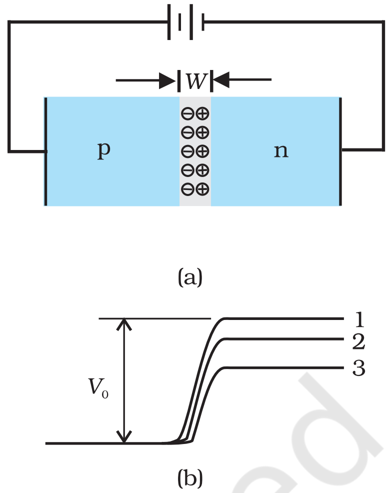
14.6.2 پس مائل پی-این جنکشن ڈائیوڈ
(p-n junction diode under reverse bias)

جب ایک بیرونی وولٹیج V کا اطلاق اس طرح کیا جاتا ہے کہ ڈائیوڈ کی n-جانب مثبت ہو اور p-جانب منفی ہو تو یہ پس مائل کہلاتا ہے [شکل (a) 14.15]۔ لگائی گئی وولٹیج کا زیادہ تر حصہ عسرت علاقے کے سروں کے درمیان ہوتا ہے۔ لگائی گئی وولٹیج کی سمت بھی وہی ہوتی ہے جو رکاوٹ مضمر کی سمت ہے۔ نتیجتاً رکاوٹ اونچائی میں اضافہ ہوجاتا ہے اور عسرت علاقہ، برقی میدان میں تبدیلی کی وجہ سے، مزید چوڑا ہوجاتا ہے۔ پس میلان کے تحت موثر رکاوٹ اونچائی $(V_0 + V)$ ہے [شکل (b) 14.15]۔ اس لیے، نفوذ کرنٹ، پیش میلان کے تحت ڈائیوڈ کے مقابلے میں بہت کم ہوجاتا ہے۔

جنکشن کے برقی میدان کی سمت اس طرح ہوتی ہے کہ اگر p-جانب پر الیکٹران یا n-جانب پر سوراخ، اپنی بے ترتیب حرکت کے دوران جنکشن کے قریب آئیں تو وہ اس کے اکثریتی علاقے میں دھکیل دیے جائیں۔ حاملوں کی یہ باد آوردگی کرنٹ پیدا کرتی ہے۔ باد آوردگی کرنٹ چند mA کے درجہ کا ہوتا ہے۔ یہ بہت قلیل ہے کیوں کہ یہ حاملوں کی ان کی اقلیتی-جانب سے اکثریتی-جانب کی طرف جنکشن کے سروں کے درمیان حرکت کی وجہ سے ہے۔ پیش میلان کے تحت بھی باد آوردگی کرنٹ ہوتا ہے، لیکن یہ قابل نظرانداز ہوتا ہے (μA) اگر اس کا مقابلہ داخل کیے گئے حاملوں کی وجہ سے پیدا ہوئے کرنٹ سے کیا جائے جو عموماً mA میں ہوتا ہے۔

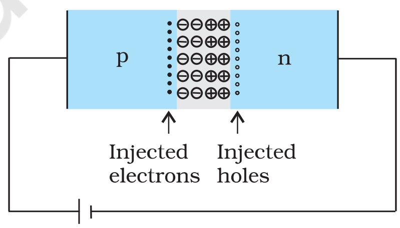
ڈائیوڈ پس کرنٹ، لگائی گئی وولٹیج کے بہت زیادہ تابع نہیں ہوتا۔ بہت قلیل وولٹیج بھی اقلیتی حاملوں کو جنکشن کی ایک جانب سے جنکشن کی دوسری جانب دھکیلنے کے لیے کافی ہوتی ہے۔ کرنٹ، لگائی گئی وولٹیج کی عددی قدر سے محدود نہیں ہوتا بلکہ جنکشن کے دونوں جانب اقلیتی حاملوں کے ارتکاز سے محدود ہوتا ہے۔

پس میلان کے تحت کرنٹ بنیادی طور پر، ایک فاصل پس میلان وولٹیج تک، وولٹیج کے غیر تابع ہوتا ہے، جو تعطلی وولٹیج (Breakdown Voletage) $'V'_{br}$ کہلاتی ہے۔ جب $V = V_{br}$، تو ڈائیوڈ پس کرنٹ بہت تیزی سے بڑھتا ہے۔ میلان وولٹیج میں ذرا سا اضافہ بھی کرنٹ میں بڑی تبدیلی پیدا کرتا ہے۔ اگر پس کرنٹ کی قدر کو شمار شدہ قدر (Rated Value) (بنانے والے کے ذریعے متعین کی گئی) سے نیچے ایک بیرونی سرکٹ کے ذریعے محدود نہ رکھا جائے تو p-n جنکشن خراب ہوجائے گا۔ جب یہ اپنی شمار شدہ قدر سے زیادہ ہوجاتا ہے تو زیادہ گرم ہوجانے کی وجہ سے ڈائیوڈ خراب ہوجاتا ہے۔ ایسا پیش میلان کے تحت بھی ہوسکتا ہے اگر پیش کرنٹ اپنی شمار شدہ قدر سے زیادہ ہوجائے۔

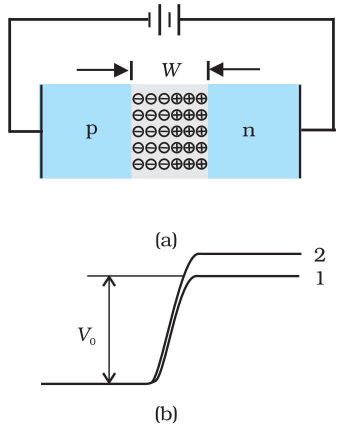


شکل 14.13: (a) پیش میلان کے تحت p-n جنکشن (b) رکاوٹ مضمر (i) بیٹری کے بغیر (ii) قلیل بیٹری وولٹیج (iii) اعلا بیٹری وولٹیج

داخل کیے گئے سوراخ داخل کیے گئے الیکٹران

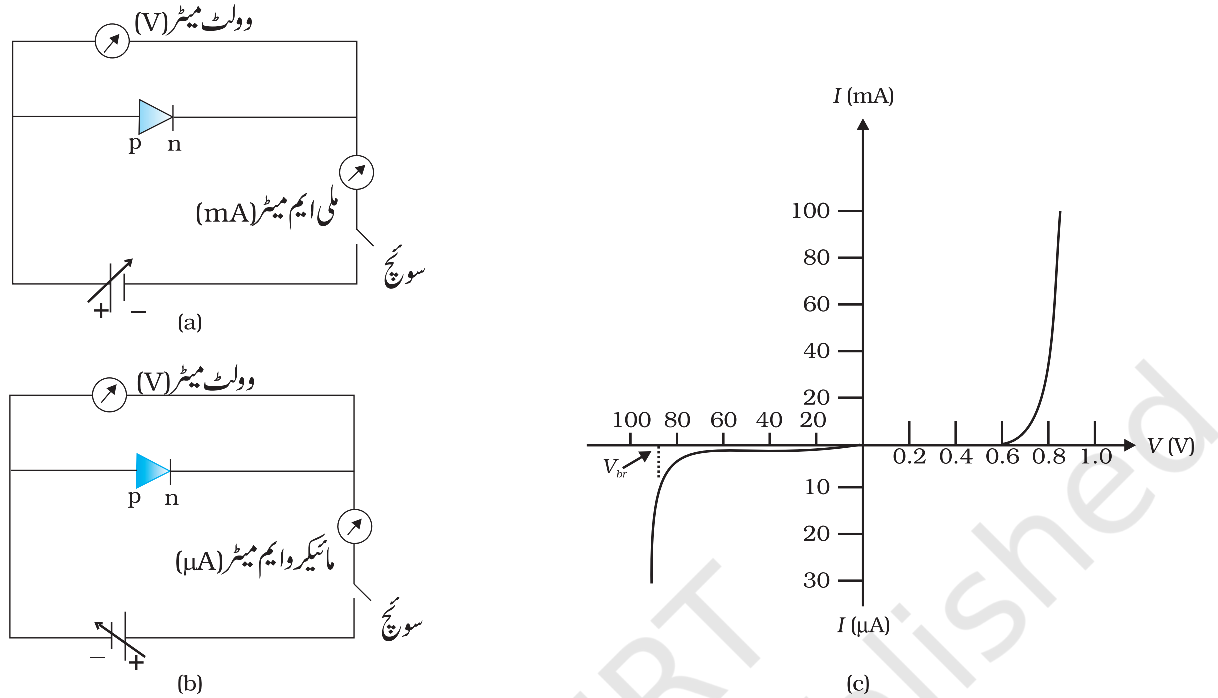


شکل 14.4: پیش میلان اقلیتی حامل داخلہ



شکل 14.15: (a) پس میلان کے تحت ڈائیوڈ (b) پس میلان کے تحت رکاوٹ مضمر

© NCERT not to be republished



شکل 14.16: ایک p-n جنکشن ڈایوڈ کے مخصوص خم کا مطالعہ کرنے کے تجرباتی سرکٹ کی ترتیب
(a) پیش میلان میں (b) پس میلان میں (c) ایک سلی کون ڈایوڈ کا خاص مخصوص خم

ایک ڈایوڈ کے V–I مخصوص خم (یعنی کہ، کرنٹ کی تبدیلی بطور تفاعل اطلاقی وولٹیج) کا مطالعہ کرنے کے لیے سرکٹ ترتیب شکل (a) 14.16 اور (b) 14.16 میں دکھائی گئی ہے۔ بیٹری کو ڈایوڈ سے ایک پوٹینشیو میٹر (یا رہیوسٹیٹ) کے ذریعے منسلک کیا گیا ہے تاکہ ڈایوڈ پر لگائی گئی وولٹیج کو تبدیل کیا جا سکے۔ وولٹیج کی مختلف قدروں کے لیے، کرنٹ کی قدریں نوٹ کی جاتی ہیں۔ V اور I کے درمیان ایک گراف حاصل ہوتا ہے، جیسا کہ شکل (c) 14.16 میں دکھایا گیا ہے۔ نوٹ کریں کہ پیش میلان پیمائش میں ہم ایک ملی ایم میٹر استعمال کرتے ہیں کیوں کہ کرنٹ کی متوقع قدر زیادہ ہوتی ہے (جیسا کہ پچھلے حصے میں وضاحت کی جا چکی ہے)، جب کہ پس میلان میں کرنٹ کی پیمائش کے لیے ایک مائیکرو میٹر استعمال کیا جاتا ہے۔ آپ شکل (c) 14.6 میں دیکھ سکتے ہیں کہ پیش میلان میں کرنٹ پہلے بہت آہستہ آہستہ بڑھتا ہے، تقریباً قابل نظرانداز حد تک، جب تک کہ ڈایوڈ کے سروں کے درمیان لگائی گئی وولٹیج ایک مخصوص قدر سے زیادہ نہیں ہو جاتی۔ اس مخصوص وولٹیج کے بعد، ڈایوڈ کرنٹ میں قابل لحاظ اضافہ (قوت نمائی طور پر) ہوتا ہے، چاہے ڈایوڈ میلان وولٹیج میں بہت خفیف اضافہ بھی کیا جائے۔ اس وولٹیج کو دہلیز وولٹیج یا قاطع وولٹیج بھی کہتے ہیں۔ (~0.2V جرمنیم ڈایوڈ کے لیے اور ~ 0.7 V سلی کون ڈایوڈ کے لیے)۔

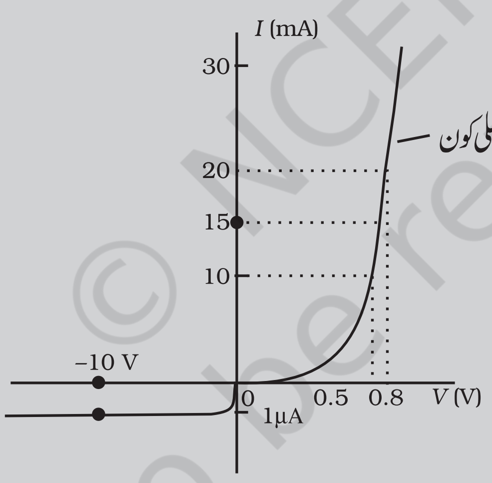
جب ڈایوڈ پس میلان میں ہوتا ہے تو کرنٹ بہت خفیف ہوتا ہے (~μA) اور میلان میں تبدیلی کے ساتھ تقریباً مستقلہ رہتا ہے۔ اسے پس سیر شدگی کرنٹ (reverse saturation current) کہتے ہیں۔ لیکن، کچھ خاص

صورتوں میں، بہت زیادہ پس میلان پر (تعطلی وولٹیج)، کرنٹ میں اچانک اضافہ ہوتا ہے۔ ڈایوڈ کے اس خاص عمل سے آگے حصہ 14.8 میں بحث کی گئی ہے۔ عام مقاصد کے لیے استعمال کیے جانے والے ڈایوڈ، پس سیر شدگی کرنٹ علاقے سے باہر نہیں استعمال کیے جاتے۔

مندرجہ بالا بحث سے یہ واضح ہو جاتا ہے کہ p-n جنکشن ڈایوڈ، بنیادی طور پر، ایک ہی سمت میں کرنٹ کا بہاؤ ہونے دیتا ہے (پیش میلان)۔ پس میلان مزاحمت کے مقابلے میں پیش میلان مزاحمت کی قدر کم ہوتی ہے۔ یہ خاصیت ac وولٹیجوں کی سمت کاری (Rectification) میں استعمال کی جاتی ہے، جیسا کہ اگلے حصے میں بیان کیا گیا ہے۔ ہم ڈایوڈ کے لیے ایک مقدار، جو حرکی مزاحمت کہلاتی ہے، کی تعریف اس طرح کرتے ہیں کہ یہ وولٹیج میں خفیف تبدیلی ΔV کی کرنٹ میں خفیف تبدیلی ΔI سے نسبت ہے:

$$r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I} \tag{14.6}$$

مثال 14.4: ایک سلی کون ڈایوڈ کا V–I مخصوص خم شکل 14.17 میں دکھایا گیا ہے۔ ڈایوڈ کی مزاحمت تحسیب کیجیے: (a) $I_D = 15$ mA پر اور (b) $V_D = -10$ V پر



شکل 14.17

حل: ڈایوڈ مخصوص خم کو $I = 10$ mA سے $I = 20$ mA کے درمیان، مبدے سے گذرتا ہوا ایک مستقیم خط مانتے ہوئے، ہم اوم کا قانون استعمال کر کے مزاحمت تحسیب کر سکتے ہیں:

(a) منحنی سے: $I = 20$ mA, $V = 0.8$ V; $I = 10$ mA, $V = 0.7$ V

$$r_{fb} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{0.1\text{V}}{10\text{ mA}} = 10\ \Omega$$

(b) منحنی سے، $V = -10$V پر، $I = -1\mu$A، اس لیے

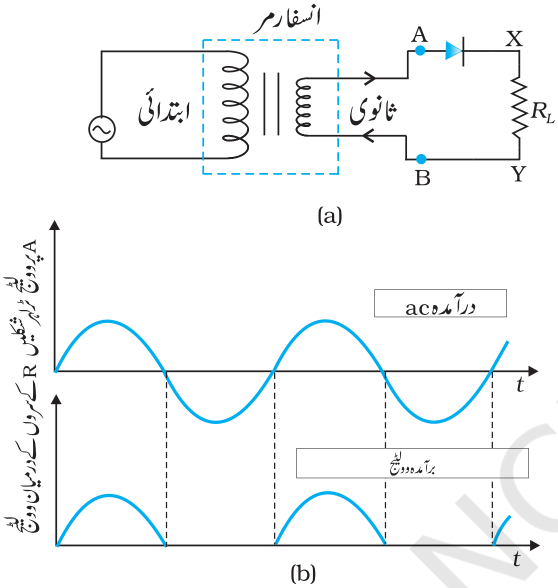
$$r_{rb} = \frac{10\text{ V}}{1\mu\text{A}} = 1.0 \times 10^7\ \Omega$$

مثال 14.4

© NCERT not to be republished

14.7 جنکشن ڈایوڈ کا بطور سمت کار استعمال (APPLICATION OF JUNCTION DIODE AS A RECTIFIER)

جنکشن ڈایوڈ کے V-I مخصوص خم سے ہم دیکھتے ہیں کہ یہ کرنٹ کو صرف اسی وقت گذرنے دیتا ہے جب یہ پیش مائل ہوتا ہے۔اس لیے اگر ایک جنکشن ڈایوڈ کے سروں کے درمیان متبادل وولٹیج لگائی جائے تو کرنٹ سائیکل کے صرف اس حصے میں بہتا ہے جب ڈایوڈ پیش مائل ہوتا ہے۔اس خاصیت کا استعمال متبادل وولٹیجوں کی سمت کاری کے لیے کیا جاتا ہے اور اس مقصد کے لیے استعمال کیا جانے والا سرکٹ سمت کار کہلاتا ہے۔



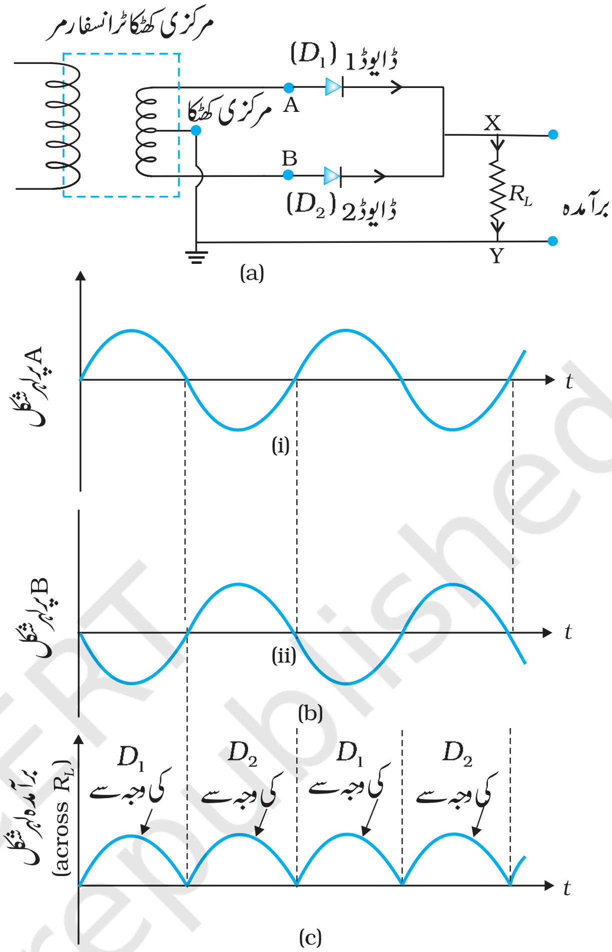
شکل 14.18 (a): نصف-لہر سمت کار سرکٹ (b) سمت کار سرکٹ سے درآمدہ ac وولٹیج اور برآمدہ ac وولٹیج کی

اگر ڈایوڈ کے سروں کے درمیان، جو ایک لوڈ کے ساتھ سلسلہ وار طرز میں جڑا ہو، ایک متبادل وولٹیج لگائی جائے تو ac درآمدہ کے صرف نصف سائیکلوں کے دوران ہی لوڈ کے سروں کے درمیان ایک پلس وولٹیج ظاہر ہوگی۔ ایسا اس دوران ہوگا جب ڈایوڈ پیش مائل ہوگا۔ایسا سمت کار سرکٹ، جو کہ شکل 14.18 میں دکھایا گیا ہے،نصف -لہر سمت کار کہلاتا ہے۔ایک ٹرانسفارمر کا ثانوی کوائل، A اور B ٹرمنلوں کے درمیان مطلوبہ ac وولٹیج مہیا کرتا ہے۔ جب A پر وولٹیج مثبت ہوتی ہے تو ڈایوڈ پیش مائل ہوتا ہے اور ایصال کرتا ہے۔ جب A منفی ہوتا ہے تو ڈایوڈ پس مائل ہوتا ہے اور ایصال نہیں کرتا۔ڈایوڈ کا پس سیر شدگی کرنٹ ناقابل لحاظ ہوتا ہے اور اسے تمام عملی صورتوں میں صفر مانا جاسکتا ہے۔(ایک ڈایوڈ کی پس تعطل وولٹیج کو ٹرانسفارمر کے سیکنڈری کوائل پر ac وولٹیج کی فراز قدر سے کافی زیادہ ہونا چاہیے تاکہ ڈایوڈ پس تعطل سے محفوظ رہ سکے۔

اس لیے، ac کے مثبت نصف سائیکل میں، لوڈ مزاحمہ R_h میں سے کرنٹ گذرتا ہے اور ہمیں ایک برآمدہ وولٹیج ملتی ہے، جیسا کہ شکل (b) 14.18 میں دکھایا گیا ہے، جب کہ منفی نصف سائیکل میں کوئی کرنٹ نہیں گذرتا۔اگلے مثبت نصف سائیکل میں ہمیں برآمدہ وولٹیج د بارہ ملتی ہے۔اس لیے، حالاں کہ برآمدہ وولٹیج اب بھی تبدیل ہوتی رہتی ہے لیکن ایک سمت میں ہی محدود رہتی ہے اور سمتی (rectified) کہلاتی ہے۔کیوں کہ اس کرنٹ کا سمتی برآمدہ، درآمدہ ac لہر کے صرف نصف حصے کے لیے حاصل ہوتا ہے، یہ نصف-لہر سمت کار کہلاتا ہے۔

وہ سرکٹ جس میں دو ڈایوڈ استعمال کیے جاتے ہیں، جسے شکل (a) 14.19 میں دکھایا گیا ہے، ac سائیکل کے مثبت نصف اور منفی نصف، دونوں، کے لیے برآمدہ سمتی وولٹیج دیتا ہے۔اس لیے اسے مکمل-لہر نصف کار کہتے ہیں۔ یہاں دونوں ڈایوڈ کی p-جانب کو ٹرانسفارمر کے سیکنڈری کے سروں سے منسلک کیا جاتا ہے۔دونوں ڈایوڈ کی n-جانب آپس میں جوڑ دی جاتی ہیں اور برآمدہ دونوں ڈایوڈ کے اس مشترک نقطے اور ٹرانسفارمر کے سیکنڈری کوائل کے وسطی نقطے کے درمیان

© NCERT not to be republished



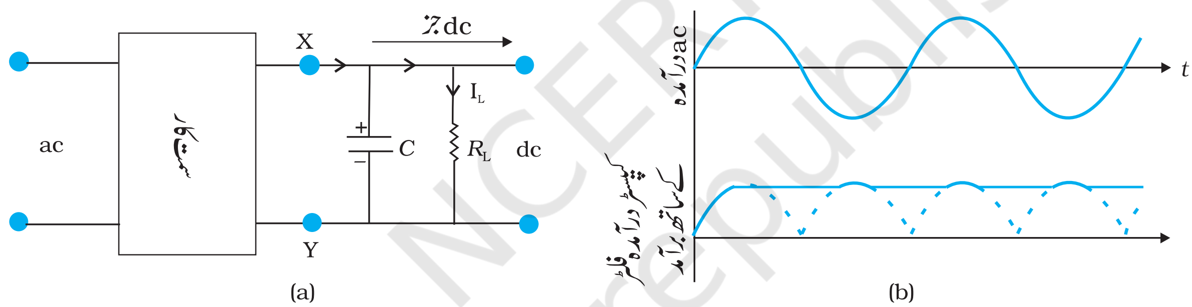
شکل 14.19:(a)ایک مکمل-لہرسمت کار سرکٹ (b)ڈایوڈ D_1 کو A پر اور ڈایوڈ D_2 کو B پر دی گئیں درآمدہ لہر شکلیں (c) مکمل لہر سرکٹ میں جوڑے گئے لوڈ R_L کے سروں کے درمیان برآمدہ لہر شکل

لیا جاتا ہے۔اس طرح ایک مکمل-لہر سمت کار کے لیے،ٹرانسفارمر کے سیکنڈری کوائل میں ایک مرکزی کھٹکا (Centre tapping) مہیا کیا جاتا ہے اور اس لیے اسے مرکزی کھٹکا ٹرانسفارمر کہتے ہیں۔جیسا کہ شکل (c) 14.19 سے دیکھا جاسکتا ہے،ہر ڈایوڈ سے سمتی ہوئی وولٹیج کل سیکنڈری وولٹیج کا نصف ہوتی ہے۔ہر ڈایوڈ صرف نصف سائیکل کے لیے ہی سمت کاری کرتا ہے،لیکن دونوں ایسا متبادل سائیکلوں کے لیے کرتے ہیں۔اس لیے،ان کے مشترکہ ٹرمینل اور ٹرانسفارمر کے مرکزی کھٹکے کے درمیان برآمدہ ایک مکمل-لہر سمت کار برآمدہ بن جاتا ہے۔[نوٹ کریں کہ مکمل لہر سمت کار کا ایک اور سرکٹ بھی ہے،جس میں مرکزی کھٹکا ٹرانسفارمر استعمال نہیں ہوتا بلکہ چار ڈایوڈ کی ضرورت پڑتی ہے۔) فرض کیا کہ A پر درآمدہ وولٹیج کسی بھی لمحہ وقت پر،مرکزی کھٹکے کی مناسبت سے مثبت ہے۔یہ ظاہر ہے کہ اس وقت B پر وولٹیج،فیز سے باہر ہونے کی وجہ سے،منفی ہوگی،جیسا کہ شکل (b) 14.19 میں دکھایا گیا ہے۔اس لیے ڈایوڈ D_1 پیش مائل ہوجاتا ہے اور ایصال کرتا ہے۔(جب کہ ڈایوڈ D_2 ،پس مائل ہونے کی وجہ سے ایصالی نہیں ہوتا)۔اس لیے ہمیں اس مثبت نصف سائیکل کے دوران ایک برآمدہ کرنٹ ملتا ہے (اور لوڈ مزاحمت R کے سروں کے درمیان ایک برآمدہ وولٹیج)،جیسا کہ شکل 14.19 (c) میں دکھایا گیا ہے۔ac سائیکل کے دوران جب A پر وولٹیج مرکزی کھٹکے کی مناسبت سے منفی ہوجاتی ہے تو B پر وولٹیج مثبت ہوگی۔سائیکل کے اس حصے میں ڈایوڈ D_1 ایصال نہیں کرے گا،لیکن ڈایوڈ D_2 کرے گا اور ac درآمدہ کے منفی نصف سائیکل کے دوران ایک برآمدہ کرنٹ اور برآمدہ وولٹیج (R_L کے سروں کے درمیان) دے گا۔اس لیے ہمیں سائیکل کے مثبت اور منفی دونوں نصف حصوں کے دوران برآمدہ وولٹیج ملے گی۔ظاہر ہے کہ نصف لہر سمت کار کے مقابلے میں یہ سرکٹ،سمتی وولٹیج یا کرنٹ حاصل کرنے کے لیے،زیادہ مستعد (efficient) ہے۔

سمتی وولٹیج،نصف سائن خم نما کی شکل کی پلس کی شکل میں ہوتی ہے۔حالاں کہ یہ یک سمتی ہوتی ہے لیکن اس کی ایک قائم قدر نہیں ہوتی۔پلس کی شکل کی وولٹیج سے قائم dc برآمدہ حاصل کرنے کے لیے،عام طور سے برآمدہ ٹرمنلوں کے درمیان ایک کپیسٹر (لوڈ R_L سے متوازی طرز میں) جوڑ دیا جاتا ہے۔اسی مقصد کے لیے ہم R_L کے ساتھ،سلسلہ وار

طرز میں ایک امالہ کار بھی جوڑ سکتے ہیں۔ کیوں کہ یہ اضافہ سرکٹ، ac ہلکورے (Ripple) کو چھانتے ہوئے معلوم ہوتے ہیں اور ایک خالص dc وولٹیج دیتے ہیں، اس لیے انھیں فلٹر کہتے ہیں۔

اب ہم چھاننے کے عمل میں کپیسٹر کے رول سے بحث کریں گے۔ جب کپیسٹر کے سروں کے درمیان وولٹیج بڑھ رہی ہوتی ہے تو یہ چارج ہو جاتا ہے۔ اگر کوئی بیرونی لوڈ نہ ہو تو یہ سمتی برآمدہ کی فراز وولٹیج (Peak Voltage) پر چارج رہتا ہے۔ جب ایک لوڈ ہوتا ہے تو یہ لوڈ کے ذریعے ڈسچارج ہوتا ہے اور اس کے سروں کے درمیان وولٹیج کم ہونا شروع ہو جاتی ہے۔ سمتی برآمدہ کے اگلے نصف سائیکل میں یہ دوبارہ فراز قدر تک چارج ہو جاتا ہے۔ (شکل 14.20)۔ کپیسٹر کے سروں کے درمیان وولٹیج کے کم ہونے کی شرح، کپیسٹر کی گنجائش C اور سرکٹ میں استعمال کیے گئے، مزاحمہ کی موثر مزاحمت R_L کے حاصل ضرب کے مقلوب کے تابع ہوتی ہے اور اسے وقت مستقلہ کہتے ہیں۔ وقت مستقلہ کو بڑا بنانے کے لیے C کو بڑا ہونا چاہیے۔ اس لیے، کپیسٹر درآمدہ فلٹروں میں بڑے کپیسٹر استعمال کیے جاتے ہیں۔ کپیسٹر درآمدہ فلٹروں کے استعمال کے ذریعے، حاصل ہوئی برآمدہ وولٹیج سمتی وولٹیج کی فراز وولٹیج کے نزدیک ہوتی ہے۔ اس قسم کا فلٹر سب سے زیادہ پاور سپلائی میں استعمال ہوتا ہے۔



شکل 14.20 (a) کپیسٹر فلٹر کے ساتھ ایک مکمل-لہر سمت کار (b) a میں دکھائے گئے سمت کار کی درآمدہ اور برآمدہ وولٹیج

14.8 مخصوص غایت پی-این جنکشن ڈایوڈ
(SPECIAL PURPOSE p-n JUNCTION DIODES)

اس حصے میں ہم کچھ ایسے آلات سے بحث کریں گے جو بنیادی طور پر جنکشن ڈایوڈ ہیں لیکن مختلف استعمالات کے لیے بنائے گئے ہیں۔

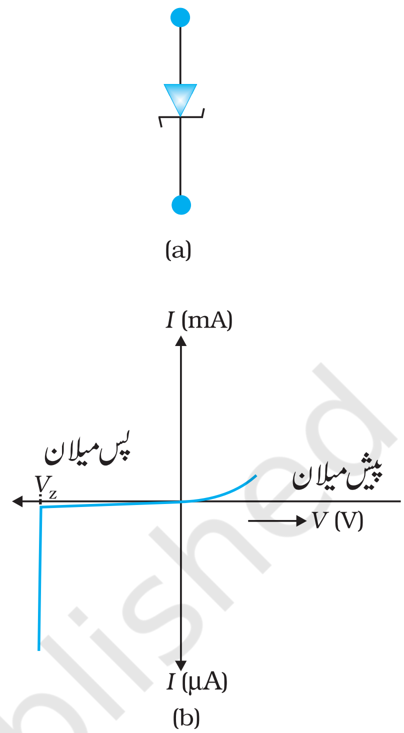
14.8.1 زینر ڈایوڈ (Zener diode)

یہ ایک مخصوص غایت نیم موصل ڈایوڈ ہے، جس کا نام اس کے موجد سی-زینر کے نام پر رکھا گیا ہے۔ اسے تعطل علاقہ میں پس میلان کے تحت کام کرنے کے لیے ڈیزائن کیا گیا ہے اور اسے بطور وولٹیج تعدیل کار (Voltage regulator) استعمال کیا جاتا ہے۔ زینر ڈایوڈ کی علامت شکل (a) 14.21 میں دکھائی گئی ہے۔

زینر ڈایوڈ ایک جنکشن کی p-جانب اور n-جانب، دونوں، کو بہت زیادہ ڈوپ کر کے بنایا جاتا ہے۔ اس طرح عسرت علاقہ بہت پتلا ($<10^{-6}$m) تشکیل ہوتا ہے اور جنکشن کا برقی میدان بہت خفیف پس میلان وولٹیج، تقریباً 5V قدر

© NCERT not to be republished

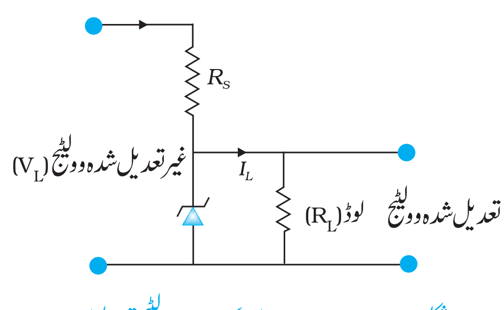
کی، کے لیے بھی بہت زیادہ ($\sim 5\times10^6$ V/m) ہوتا ہے۔ ایک زینر ڈایوڈ کا V–I مخصوص خم شکل 14.21 (b) میں دکھایا گیا ہے۔ یہ دکھایا گیا ہے کہ جب لگائی گئی پس مائل وولٹیج (V)، زینر ڈایوڈ کی تعطل وولٹیج (V_z) تک پہنچتی ہے تو پس مائل وولٹیج میں تقریباً غیر قابل لحاظ تبدیلی کے ذریعے بھی کرنٹ میں ایک بڑی تبدیلی پیدا کی جا سکتی ہے۔ دوسرے لفظوں میں، زینر وولٹیج مستقلہ رہتی ہے، حالانکہ زینر ڈایوڈ سے گذر رہا کرنٹ بڑی سعت پر تبدیل ہوتا ہے۔ زینر ڈایوڈ کی یہ خاصیت سپلائی وولٹیجوں کی تعدیل کرنے کے لیے استعمال کی جاتی ہے، تاکہ وہ مستقلہ رہیں۔



شکل 14.21: زینر ڈایوڈ (a) علامت (b) I–V مخصوص خم

آیئے یہ سمجھتے ہیں کہ تعطل وولٹیج پر پس کرنٹ اچانک کیوں بڑھ جاتا ہے۔ ہم جانتے ہیں کہ پس کرنٹ الیکٹرانوں (اقلیتی حاملوں) کے n→p اور سوراخوں کے p→n بہنے کی وجہ سے پیدا ہوتا ہے۔ جیسے جیسے پس مائل وولٹیج میں اضافہ کیا جاتا ہے، جنکشن پر برقی میدان قابل لحاظ ہوتا جاتا ہے۔ جب پس مائل وولٹیج (V)، V_z کے مساوی ہو جاتی ہے۔ ($V=V_z$)، تو برقی میدان کی طاقت اتنی زیادہ ہو جاتی ہے کہ میزبان ایٹموں سے گرفت الیکٹرانوں کو p– جانب کھینچ سکے جو کہ n– جانب اسراع پذیر تھے۔ یہ الیکٹران ہی تعطل پر مشاہدہ کیے گئے بڑے کرنٹ کی وجہ ہیں۔ میزبان ایٹموں سے، اعلیٰ برقی میدان کی وجہ سے، الیکٹرانوں کا اخراج، اندرونی میدان اخراج یا میدان آین کاری کہلاتا ہے۔ میدان آئن کاری کے لیے درکار میدان 10^6 V/m کے درجہ کا ہوتا ہے۔

ہم جانتے ہیں کہ جب ایک سمت کار کی ac درآمدہ وولٹیج غیر مستقل ہوتی ہے تو اس کا سمتی برآمدہ بھی غیر مستقل ہوتی ہے۔ ایک سمت کار کی غیر تعدیل شدہ dc برآمدہ سے ایک مستقل dc وویج حاصل کرنے کے لیے ہم ایک زینر ڈایوڈ استعمال کرتے ہیں۔ زینر ڈایوڈ استعمال کرتے ہوئے ایک وولٹیج تعدیل کار کی سرکٹ ڈائیگرام شکل 14.22 میں دکھائی گئی ہے۔



شکل 14.22: زینر ڈایوڈ بہ طور ایک DC وولٹیج تعدیل کار

غیر تعدیل شدہ dc وولٹیج (ایک سمت کار کی فلٹر کی ہوئی برآمد) کو ایک سلسلہ وار مزاحمہ R_s کے ذریعے زینر ڈایوڈ سے اس طرح جوڑا جاتا ہے کہ زینر ڈایوڈ پس مائل ہو۔ اگر درآمد وولٹیج بڑھتی ہے تو R_s اور زینر ڈایوڈ سے گذرنے والا کرنٹ بھی بڑھتا ہے۔ اس سے زینر ڈایوڈ کے سروں کے درمیان وولٹیج میں بغیر کسی تبدیلی کے R_s کے سروں کے درمیان وولٹیج بڑھ جاتا ہے۔ ایسا اس لیے ہوتا ہے، کیوں کہ تعطل علاقہ میں، زینر وولٹیج مستقلہ رہتی ہے اور حالانکہ زینر ڈایوڈ سے گذر رہا کرنٹ تبدیل ہوتا ہے۔ اسی طرح، اگر درآمد وولٹیج کم ہوتی ہے تو R_s اور زینر ڈایوڈ سے گذرنے والا کرنٹ بھی کم ہو جاتا ہے۔ زینر ڈایوڈ کے سروں کے درمیان وولٹیج فرق میں بغیر کسی تبدیلی کے R_s کے سروں کے درمیان وولٹیج کم ہو جاتا ہے اس اضافہ/کمی، زینر ڈایوڈ کے سروں کے درمیان وولٹیج میں بغیر کوئی تبدیلی کیے، R_s کے سرو میں اضافہ/کمی کی شکل میں ظاہر ہوتا ہے۔ اس طرح زینر ڈایوڈ ایک وولٹیج تعدیل کار کی طرح کا کو مطلوبہ برآمد وولٹیج کے مطابق منتخب کرنا ہوتا ہے اور اسی لحاظ سے سلسلہ وار مزاحمت R_s کو بھی

© NCERT not to be republished

مثال 14.5: ایک زینر تعدیل شدہ پاور سپلائی میں تعدیل کاری کے لیے ایک زینر ڈایوڈ $V_Z = 6.0$ V کے ساتھ، استعمال کیا جاتا ہے۔ لوڈ کرنٹ 4.0 mA ہوتا ہے اور غیر تعدیل شدہ درآمد 10.0V ہے۔ سلسلہ وار مزاحمت R_s کی کیا قدر ہونی چاہیے؟

حل: R_s کی قدر ایسی ہونی چاہیے کہ زینر ڈایوڈ سے گذرنے والا کرنٹ، لوڈ کرنٹ سے بہت زیادہ ہو۔ زینر کرنٹ کو لوڈ کرنٹ کا 5 گنا منتخب کر لیجیے، یعنی کہ: $I_Z = 20$ mA، اس لیے R_s سے گذر رہا کل کرنٹ 24 mA ہے۔ R_s کے سروں کے درمیان وولٹیج فرق $10.0 - 6.0 = 4.0$ V ہے۔ اس سے حاصل ہوتا ہے: $R_s = \dfrac{4.0\text{V}}{(24 \times 10^{-3})\text{ A}} = 167\ \Omega$، کاربن مزاحمہ کی قریب ترین قدر 150 Ω ہے۔ اس لیے 150 Ω کا ایک سلسلہ وار مزاحمہ مناسب ہے۔ نوٹ کریں کہ مزاحمہ کی قدر میں تھوڑی بہت تبدیلی سے فرق نہیں پڑتا، اہم بات یہ ہے کہ کرنٹ I_Z کو I_L سے کافی زیادہ ہونا چاہیے۔

مثال 14.5

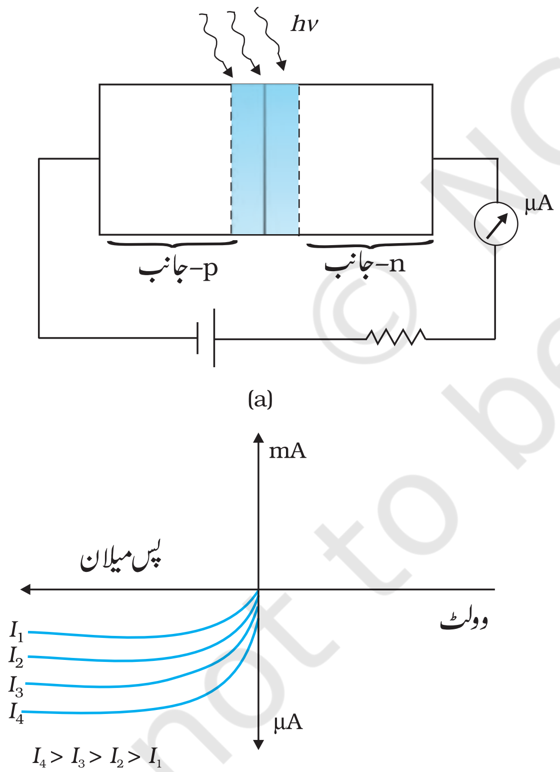
14.8.2 نوری الیکٹرانک جنکشن آلات (Optoelectronic junction devices)

اب تک ہم نے یہ دیکھا کہ ایک نیم موصل ڈایوڈ، لگائی گئی برقی درآمد کے تحت کیسے برتاؤ کرتا ہے۔ اس حصے میں ہم ایسے نیم موصل ڈایوڈ کے بارے میں سیکھیں گے جن میں حامل، فوٹانوں (فوٹو۔اشتعال) کے ذریعے پیدا کیے جاتے ہیں۔ ایسے تمام آلات نوری الیکٹرانک آلات کہلاتے ہیں۔ ہم مندرجہ ذیل نوری الیکٹرانک آلات کے کام کرنے کے طریقے کا مطالعہ کریں گے:

(i) فوٹو ڈایوڈ جو نوری سگنل کو شناخت کرنے کے لیے استعمال کیے جاتے ہیں (فوٹو شناخت کار)

(ii) روشنی خارج کرنے والے ڈایوڈ (LED)، جو برقی توانائی کو روشنی میں تبدیل کرتے ہیں۔

(iii) فوٹو وولٹائی آلات جو نوری اشعاع کو برق میں تبدیل کرتے ہیں (شمسی سیل)



شکل 14.23: (a) پس میلان کے تحت، ایک روشن فوٹو ڈایوڈ (b) مختلف روشنی شدت $I_4 > I_3 > I_2 > I_1$ کے لیے ایک فوٹو ڈایوڈ کے I–V مخصوص خم

(i) فوٹو ڈایوڈ (Photodiode)

ایک فوٹو ڈایوڈ بھی ایک مخصوص غایت p–n جنکشن ڈایوڈ ہے، جسے اس طرح بنایا جاتا ہے کہ اس میں ایک شفاف کھڑکی ہوتی ہے، جس سے روشنی ڈایوڈ پر پڑ سکتی ہے۔ اسے پس میلان کے تحت چلایا جاتا ہے۔ جب فوٹو ڈایوڈ پر ایسی روشنی پڑتی ہے (فوٹان پڑتے ہیں) جس کی توانائی ($h\nu$)، نیم موصل کے توانائی فصل (E_g) سے زیادہ ہوتی ہے تو فوٹانوں کے انجذاب کی وجہ سے الیکٹران۔سوراخ جوڑے پیدا ہوتے ہیں۔ ڈایوڈ کو اس طرح بنایا جاتا ہے کہ e–h جوڑے، ڈایوڈ کے عسرت۔علاقے میں یا اس کے نزدیک، پیدا ہوں۔ جنکشن کے برقی میدان کی وجہ سے، الیکٹران اور سوراخ، باز متحد ہونے سے پہلے ہی ایک دوسرے سے

علاحدہ ہوجاتے ہیں۔ برقی میدان کی سمت ایسی ہوتی ہے کہ الیکٹران n- جانب پہنچتے ہیں اور سوراخ p- جانب پہنچتے ہیں۔ الیکٹرانوں کو n- جانب وصول کرلیا جاتا ہے اور سوراخوں کو p- جانب، جس سے ایک emf پیدا ہوتی ہے۔ جب ایک بیرونی لوڈ لگایا جاتا ہے تو کرنٹ بہتا ہے۔ فوٹو کرنٹ کی عددی قدر، واقع روشنی کی شدت کے تابع ہے (فوٹو کرنٹ، واقع روشنی کی شدت کے متناسب ہے)

اگر ایک پس میلان لگایا جائے تو روشنی کی شدت کے ساتھ کرنٹ میں تبدیلی کا مشاہدہ کرنا آسان ہوجاتا ہے۔ اس لیے ایک فوٹو ڈایوڈ، نوری سگنلوں کو شناخت کرنے کے لیے بطور فوٹو شناخت کار استعمال کیا جاتا ہے۔ ایک فوٹو ڈایوڈ کے I–V مخصوص خم کی پیمائش کے لیے استعمال کی جانے والی سرکٹ ڈائیگرام شکل (a) 14.23 میں دکھائی گئی ہے اور ایک مخصوص، I–V مخصوص خم شکل (b) 14.23 میں دکھایا گیا ہے۔

مثال 14.6: پیش میلان میں کرنٹ (mA~) پس میلان میں کرنٹ (μA~) سے زیادہ ہوتا ہے، یہ ہمیں معلوم ہے۔ پھر فوٹو ڈایوڈ کو پس میلان میں چلانے کی وجہ کیا ہے؟

حل: ایک n- قسم نیم موصل لیجیے۔ ظاہر ہے کہ اکثریت حامل کثافت (n)، اقلیت حامل کثافت (p) سے بہت زیادہ ہے (یعنی کہ: $n >> p$)۔ فرض کیجیے روشن کرنے پر، پیدا ہونے والے مزید الیکٹران اور سوراخ، بالترتیب، Δn اور Δp ہیں:

$$n' = n + \Delta n$$

$$p' = p + \Delta p$$

جہاں n' اور p' الیکٹرانوں اور سوراخوں کے، کسی بھی مخصوص روشنی پر، ارتکاز ہیں اور n اور p حاملوں کے ارتکاز اس وقت ہیں جب کوئی روشنی نہیں پڑ رہی ہے۔ یاد رکھیے: $\Delta n = \Delta p$ اور $n >> p$، اس لیے اکثریت حاملوں میں کسری تبدیلی (یعنی کہ $\frac{\Delta n}{n}$)، اقلیت حاملوں میں کسری تبدیلی (یعنی کہ $\left(\frac{\Delta p}{p}\right)$) کے مقابلے میں بہت کم ہوگی۔ عمومی طور پر، ہم کہہ سکتے ہیں کہ اقلیت حامل حاوی پس میلان کرنٹ میں نوری اثرات کی وجہ سے ہونے والی کسری تبدیلی، پیش میلان کرنٹ میں ہونے والی کسری تبدیلی کے مقابلے میں زیادہ آسانی سے ناپی جاسکتی ہے۔ اس لیے روشنی کی شدت ناپنے کے لیے فوٹو ڈایوڈ کو پس میلان میں استعمال کرنے کو ترجیح دی جاتی ہے۔

مثال 14.6

* نوٹ کریں کہ ایک e–h جوڑا بنانے کے لیے، ہم کچھ توانائی خرچ کرتے ہیں (فوٹو اشتعال، حرارتی اشتعال، وغیرہ)۔ اس لیے جب ایک الیکٹران اور سوراخ دوبارہ متحد ہوتے ہیں تو توانائی روشنی کی شکل میں (اشعاعی باز اتحاد) خارج ہوتی ہے یا حرارت کی شکل میں (غیر اشعاعی باز اتحاد) خارج ہوتی ہے۔ یہ نیم موصل اور p–n جنکشن بنانے کے طریقے پر منحصر ہے۔ LEDs بنانے کے لیے GaAs، GaAs–GP جیسے نیم موصل استعمال کیے جاتے ہیں جن میں اشعاعی اتحاد حاوی ہوتا ہے۔

© NCERT not to be republished

(ii) روشنی خارج کرنے والا ڈایوڈ *(Light emitting diode)*

یہ بہت زیادہ ڈوپ کیا ہوا p–n جنکشن ہوتا ہے جو پیش میلان کے تحت از خود اشعاع خارج کرتا ہے۔ ڈایوڈ پر ایک شفاف خول چڑھا دیا جاتا ہے تاکہ خارج ہوئی روشنی باہر آ سکے۔

جب ڈایوڈ پیش مائل ہوتا ہے تو الیکٹران $n \to p$ (جہاں اقلیتی حامل ہیں) بھیجے جاتے ہیں اور سوراخ $p \to n$ (جہاں اقلیتی حامل ہیں) بھیجے جاتے ہیں۔ جنکشن سرحد پر اقلیتی حاملوں کا ارتکاز، حالت توازن ارتکاز (یعنی کہ جب کوئی میلان نہ ہو) کے مقابلے میں بڑھ جاتا ہے۔ اس لیے جنکشن کے دونوں طرف جنکشن سرحد پر زائد اقلیتی حامل ہوتے ہیں جو جنکشن کے نزدیک اکثریتی حاملوں سے باز اتحاد کرتے ہیں۔ باز اتحاد ہونے پر، توانائی فوٹانوں کی شکل میں رہا ہوتی ہے۔ ایسے فوٹان خارج ہوتے ہیں جن کی توانائی بینڈ فصل کے مساوی یا اس سے کچھ کم ہوتی ہے۔ جب ڈایوڈ کا پیش کرنٹ خفیف ہوتا ہے، تو خارج ہونے والی روشنی کی شدت بھی خفیف ہوتی ہے۔ جیسے جیسے پیش کرنٹ میں اضافہ ہوتا ہے، روشنی کی شدت میں بھی اضافہ ہوتا ہے، یہاں تک کہ شدت اپنی اعظم قدر پر پہنچ جاتی ہے۔ پیش کرنٹ میں مزید اضافہ سے روشنی کی شدت میں کمی آتی ہے۔ LEDs اس طرح مائل کیے جاتے ہیں کہ روشنی خارج کرنے کی استعداد اعظم ہو۔

ایک LED کے V–I مخصوص خم ایک Si جنکشن ڈایوڈ جیسے ہوتے ہیں۔ لیکن دہلیز وولٹیجیں مقابلتاً بہت زیادہ ہوتی ہیں اور ہر رنگ کے لیے تھوڑی مختلف ہوتی ہیں۔ LEDs کی پس تعطل وولٹیج بہت کم ہوتی ہیں، تقریباً 5V، اس لیے یہ احتیاط رکھنی چاہیے کہ ان کے سروں کے درمیان اعلا پس وولٹیج نہ پیدا ہوں۔

ایسے LEDs جو لال، پیلی، نارنجی، ہری اور نیلی روشنی خارج کر سکتے ہیں، تجارتی پیمانے پر دستیاب ہیں۔ بصری LEDs تیار کرنے میں استعمال ہونے والے نیم موصلوں میں کم از کم 1.8ev کا بینڈ فصل ہونا لازمی ہے۔ (بصری روشنی کی طیفی وسعت تقریباً 0.4 µm سے 0.7 µm ہے، یعنی کہ تقریباً 3 eV سے 1.8 eV تک) مختلف رنگوں کے LEDs بنانے کے لیے مرکب نیم موصل گیلیم آرسینائڈ-فاسفائڈ ($GaAs_{1-x}P_x$) استعمال کیا جاتا ہے۔ $GaAs_{0.6}\ P_{0.4}$ ($E_g \sim 1.9$ eV) لال LED کے لیے استعمال ہوتا ہے۔ GaAs ($E_g \sim 1.4$ eV) زیریں سرخ LED بنانے کے لیے استعمال کیا جاتا ہے۔ ان LEDs کا ریموٹ کنٹرول، چوروں کے الارم نظاموں، نوری پیام رسائی وغیرہ میں بکثرت استعمال کیا جاتا ہے۔ سفید LEDs تیار کرنے کے لیے وسیع پیمانے پر ریسرچ کی جارہی ہے۔ سفید LEDs، تاباں لیمپ کی جگہ لے سکتے ہیں۔

LEDs کے عام تاباں کم پاور لیمپوں کے مقابلے میں مندرجہ ذیل فائدے ہیں:

(i) یہ کم وولٹیج اور کم پاور پر کام کر سکتے ہیں

(ii) تیزی سے عمل کرتے ہیں اور گرم ہونے کے لیے کوئی وقت نہیں لیتے

(iii) خارج ہوئی روشنی کی بینڈ چوڑائی 100 Å سے 500 Å ہے یا دوسرے لفظوں میں یہ تقریباً (لیکن بالکل درست طور پر نہیں) یک رنگی ہے۔

(iv) زیادہ لمبی عمر اور مضبوطی

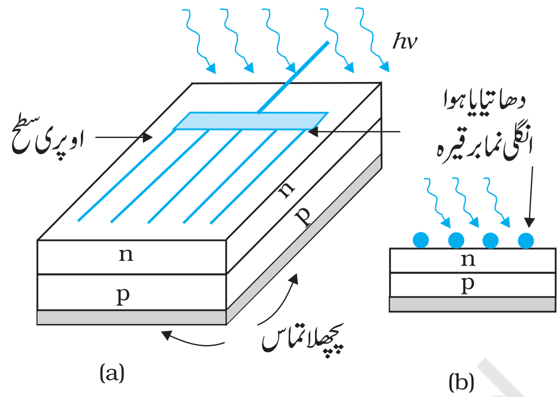
(v) تیزی سے آن- آف ہونے کی صلاحیت

© NCERT not to be republished

(iii) شمسی سیل (Solar cell)

ایک شمسی سیل بنیادی طور پر ایک ایسا p-n جنکشن ہے، جس پر اگر شمسی شعاعیں پڑتی ہیں تو یہ emf پیدا کرتا ہے۔ یہ اسی اصول (فوٹو وولٹائی اثر) پر کام کرتا ہے جس پر فوٹو ڈایوڈ کرتا ہے۔ فرق صرف یہ ہے کہ اس میں کوئی بیرونی میلان نہیں لگایا جاتا اور جنکشن رقبہ کو کہیں زیادہ وسیع رکھا جاتا ہے تا کہ زیادہ سے زیادہ شمسی شعاعیں واقع ہوسکیں، کیوں کہ ہم زیادہ پاور چاہتے ہیں۔

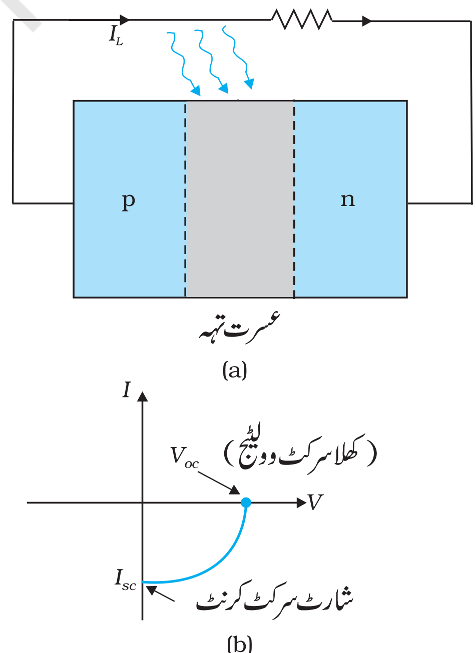
ایک سادہ p-n جنکشن شمسی سیل شکل 14.24 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 14.24: (a) مخصوص p-n جنکشن شمسی سیل (b) تراشہ شکل

تقریباً 300 μm موٹائی کا ایک P-Si ورق (ویفر wafer) لیتے ہیں اور اس کے اوپر ایک طرف عمل نفوذ کے ذریعے n-Si کی ایک پتلی تہہ (~0.3 μm) جمائی جاتی ہے۔ P-Si کی دوسری جانب دھات (پچھلا تماس) کی پالش کردی جاتی ہے۔ n-Si تہہ کی اوپری سطح پر دھاتی انگلی نما برقیرہ (metal finger electrode) (یا دھاتی گرڈ (metallic grid)) کی تہہ ہوتی ہے۔ یہ سامنے کے تماس کے بطور کام کرتی ہے۔ دھاتی گرڈ سیل کے رقبے کا بہت ہی چھوٹا جز گھیرتی ہے (<15%) تا کہ اوپر سے روشنی سیل پر واقع ہوسکے۔

روشنی پڑنے پر، ایک شمسی سیل کے ذریعے emf پیدا ہونے میں تین بنیادی عمل شامل ہیں: پیدا ہونا، علاحدہ ہونا اور جمع کیا جانا: (i) جنکشن کے نزدیک روشنی کی وجہ سے ($h\nu > E_g$ کے ساتھ) e-h جوڑوں کا پیدا ہونا۔ (ii) عسرت–علاقہ کے برقی میدان کی وجہ سے الیکٹرانوں اور سوراخوں کا علیٰحدہ ہوجانا۔ الکٹران n جانب دھکیل دیے جاتے ہیں اور سوراخ p–جانب۔ (iii) n–جانب پہنچنے والے الیکٹران سامنے کے تماس کے ذریعے اکٹھے کرلیے جاتے ہیں اور p–جانب پہنچنے والے سوراخ پچھلے تماس کے ذریعے۔ اس لیے p–جانب مثبت ہوجاتی ہے اور n–جانب منفی اور فوٹو وولٹیج پیدا ہوتی ہے۔



شکل 14.25: (a) ایک مخصوص روشن p-n جنکشن سیل (b) ایک شمسی سیل کا مخصوص خم

جب ایک بیرونی لوڈ جوڑ دیا جاتا ہے، جیسا کہ شکل 14.25 (a) میں دکھایا گیا ہے، تو لوڈ سے ایک فوٹو کرنٹ I_L بہتا ہے۔ ایک شمسی سیل کا مخصوص خم شکل 14.25 (b) میں دکھایا گیا ہے۔

نوٹ کریں کہ ایک شمسی سیل کا مخصوص خم، کوآرڈی نیٹ محوروں کے چوتھے ربع (quadrant) میں کھینچا گیا ہے۔ ایسا اس لیے ہے کیوں کہ شمسی سیل خود کرنٹ نہیں کھینچتا بلکہ لوڈ کو کرنٹ مہیا کرتا ہے۔

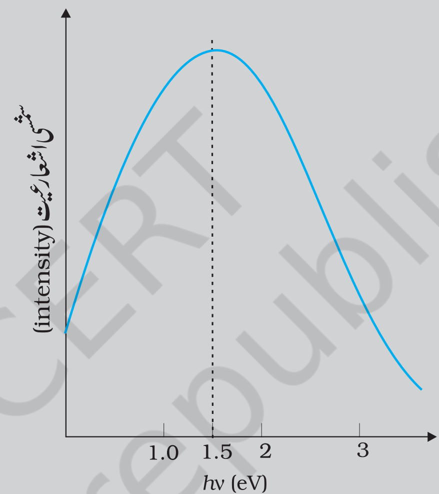
شمسی سیل بنانے کے لیے ایسے نیم موصل، جن کے توانائی فصل 1.5 eV کے آس پاس ہوں، مثالی مادی اشیا ہیں۔ شمسی سیل، Si (E_g = 1.1 eV)، GaAs (E_g = 1.43 eV)، CdTe (E_g = 1.45 eV)، $CuInSe_2$ (E_g = 1.04 eV) وغیرہ جیسے نیم موصلوں سے بنائے جاتے ہیں۔ شمسی سیل بنانے کے لیے منتخب کیے جانے والی مادی شے کی اہمیت خاصیتیں ہیں: (i) بینڈ فصل (~1.0 سے

© NCERT not to be republished

(1.8 eV)، اعلیٰ نوری انجذاب ($\sim10^4\ cm^{-1}$) (iii) برقی ایصالیت (iv) خام مادی شے کی فراہمی اور (v) قیمت۔ نوٹ کریں کہ ایک شمسی سیل کے لیے ہمیشہ ہی سورج کی روشنی کی ضرورت نہیں ہوتی۔ کوئی بھی روشنی، جس کی فوٹان توانائی بینڈ فصل سے زیادہ ہو، کام کرے گی۔ شمسی سیل، خلائی گاڑیوں اور سیارچوں میں لگے الیکٹرانک آلات کو پاور مہیا کرنے کے لیے استعمال کیے جاتے ہیں اور کچھ تحسیب کاروں (Calculators) میں بطور پاور سپلائی بھی استعمال ہوتے ہیں۔ بڑے پیمانے پر، شمسی توانائی کے لیے کم قیمت فوٹو وولٹائی سیل تیار کرنا ریسرچ کا ایک موضوع ہے۔

مثال 14.7: شمسی سیل بنانے کے لیے Si اور GaAs مادی اشیا کو ترجیح کیوں دی جاتی ہے؟

حل: ہمیں جو شمسی اشعاع طیف ملتا ہے، اسے شکل 14.26 میں دکھایا گیا ہے۔



شکل 14.26

اس کی اعظم قدر 1.5 eV کے قریب ہے۔ فوٹو اشتعال کے لیے $h\nu > E_g$، اس لیے ایسا نیم موصل جس کا بینڈ فصل 1.5 eV~ یا اس سے کم ہو، اس کی شمسی تبادلہ استعداد بہتر ہونے کی امید کی جاسکتی ہے۔ سلی کون کے لیے توانائی فصل $E_g \sim 1.1$ eV ہے اور GaAs کے لیے: 1.53 eV~ دراصل GaAs، Si سے زیادہ بہتر ہے (اپنے توانائی فصل کے مقابلتاً زیادہ ہونے کے باوجود) کیوں کہ اس کا انجذاب ضربیہ مقابلتاً زیادہ ہے۔ اگر CdS یا CdSe ($E_g \sim 2.4$ eV) منتخب کریں تو ہم نوری تبادلے کے لیے شمسی توانائی کا اعلا توانائی جز ہی استعمال کر سکتے ہیں اور توانائی کا ایک قابل لحاظ حصہ کام نہیں آسکے گا۔

ایک سوال یہ پیدا ہوتا ہے: ہم PbS ($E_g \sim 0.4$ eV) جیسی مادی شے کیوں نہیں استعمال کرتے جو شمسی اشعاع کے متطابق ν کی اعظم قدر کے لیے $h\nu > E_g$ کی شرط کو مطمئن کرتی ہے؟ اگر ہم ایسا کریں تو شمسی شعاعوں کا زیادہ تر حصہ شمسی سیل کی بالائی سطح پر ہی جذب ہو جائے گا اور عسرت علاقہ میں یا اس کے نزدیک نہیں پہنچے گا۔ جنکشن میدان کی وجہ سے موثر الیکٹران۔ سوراخ علاحدگی کے لیے، ہم چاہتے ہیں کہ فوٹو۔ پیداوار صرف جنکشن علاقے میں ہی ہو۔

مثال 14.7

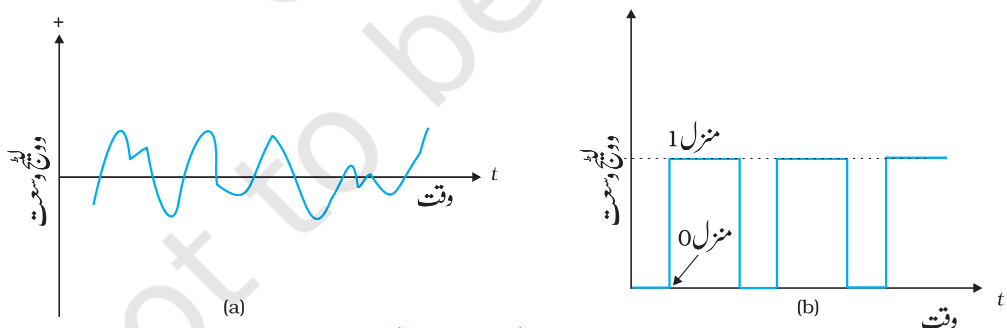
© NCERT not to be republished

14.9 ہندسی الیکٹرانیات اور لو جک گیٹس
(DIGITAL ELECTRONICS AND LOGIC GATES)

الیکٹرانیاتی سرکٹوں، جیسے افزائش کاروں، اہتزاز کاروں، میں، جن سے آپ کا پچھلے حصوں میں تعارف کیا گیا ہے، سگنل (کرنٹ یا وولٹیج) کو، مسلسل، وقت کے ساتھ تبدیل ہوتی ہوئی وولٹیج یا کرنٹ کی شکل میں لیا گیا تھا۔ ایسے سگنلوں کو مسلسل یا مشابہ (analogue) سگنل کہتے ہیں۔ ایک مخصوص مشابہ سگنل شکل (a)14.27 میں دکھایا گیا ہے۔ شکل (b)14.27 میں ایک پلس لہر شکل (pulse wave form) دکھائی گئی ہے، جس میں وولٹیج کی صرف مجرد قدریں (discrete values) ہی دکھائی گئی ہیں۔ ایسے سگنلوں کو ظاہر کرنے کے لیے ثنائی اعداد (binary numbers) استعمال کرنے سے سہولیت رہتی ہے۔ ایک ثنائی عدد میں صرف دو ہندسے، '0' (فرض کیجیے 0V) اور '1' (فرض کیجیے 5V) ہوتے ہیں۔ ہندسی الیکٹرانیات میں ہم وولٹیج کی صرف یہ دو منزلیں (levels) ہی استعمال کرتے ہیں، جیسا کہ شکل 14.27 (b) میں دکھایا گیا ہے۔ ایسے سگنل، ہندسی سگنل کہلاتے ہیں۔ ہندسی سرکٹوں میں درآمدہ اور برآمدہ وولٹیجوں کی صرف دو قدریں (جو 0 اور 1 سے ظاہر کی جاتی ہیں) ہی استعمال کرنے کی اجازت ہوتی ہے۔

اس حصہ کو ہندسی الیکٹرانیات کی تفہیم میں پہلا قدم مہیا کرنے کی غرض سے لکھا گیا ہے۔ ہم اپنے مطالعہ کو ہندسی الیکٹرانیات کے کچھ بنیادی تعمیراتی اجزا تک ہی محدود رکھیں گے (جو لوجک گیٹس کہلاتے ہیں)، جو ہندسی سگنلوں کو ایک خاص طریقے سے برتتے ہیں۔ لوجک گیٹس، تحسیب کاروں، ہندسی گھڑیوں، کمپیوٹروں، روبوٹوں، صنعتی کنٹرول نظاموں اور ٹیلی پیام رسانی (Telecommunication) میں استعمال ہوتے ہیں۔

آپ کے گھر کا روشنی سوئچ ایک ہندسی سرکٹ کی مثال ہے۔ روشنی یا تو آن ہوتی ہے یا آف، جو سوئچ کی حالت پر منحصر ہے۔ جب روشنی آن ہے تو برآمدہ قدر '1' ہے۔ جب روشنی آف ہے تو برآمدہ قدر 0 ہے۔ برآمدات، روشنی سوئچ کی حالتیں ہیں۔ سوئچ کو on یا off میں سے کسی ایک حالت میں رکھا جاتا ہے اور اس طرح روشنی کو فعال بنایا جاتا ہے۔



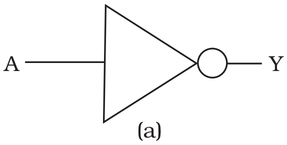
شکل 14.23: (a) مشابہ سگنل (b) ہندسی سگنل

14.9.1 لوجک گیٹس (Logic gates)

ایک گیٹ ایسا ہندسی سرکٹ ہے جو درآمدہ اور برآمدہ وولٹیجوں کے درمیان ایک منطقی رشتہ پر عمل کرتا ہے۔ اس لیے انھیں عموماً لوجک گیٹس کہا جاتا ہے۔ گیٹ اس لیے کیوں کہ یہ اطلاعات کے بہاؤ کو کنٹرول کرتے ہیں۔ استعمال کیے جانے

© NCERT not to be republished

والے 5 عام گیٹ ہیں: NOT، AND، OR، NAND، NOR۔ ہر لوجک گیٹ کی ایک علامت کے ذریعے نشان دہی کی جاتی ہے اور اس کی کارکردگی کی تعریف ایک صداقتی جدول کے ذریعے کی جاتی ہے جو تمام ممکنہ درآمدہ لوجک منزل اجتماعات کو ان کے مطابق برآمدہ لوجک منازل کے ساتھ ظاہر کرتا ہے۔ صداقتی جدول لوجک گیٹوں کے برتاؤ کو سمجھنے میں مدد کرتا ہے۔ یہ لوجک گیٹ، نیم موصل آلات استعمال کر کے بنائے جاسکتے ہیں۔



(a)

برآمدہ	درآمدہ
Y	A
1	0
0	1

(b)

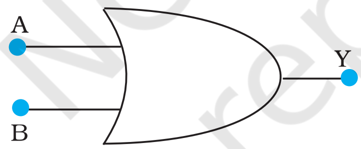
شکل 14.28: NOT گیٹ (a) کی لوجک علامت (b) کا صداقتی جدول

(i) ناٹ گیٹ *(NOT Gate)*

یہ سب سے بنیادی گیٹ ہے، جس میں ایک درآمدہ اور ایک برآمدہ ہوتا ہے۔ جب درآمدہ '0' ہوتا ہے تو یہ '1' برآمدہ دیتا ہے اور اس کے برخلاف بھی۔ یعنی کہ یہ اپنے برآمدہ کے بطور درآمدہ کی ایک تقلیب شدہ (الٹی) شکل پیدا کرتا ہے۔ اسی لیے اسے تقلیب کار (inverter) بھی کہتے ہیں۔ اس گیٹ کے لیے عام طور سے استعمال کی جانے والی علامت اور اس کا صداقتی جدول شکل 14.28 میں دکھایا گیا ہے۔

(ii) آر گیٹ *(OR Gate)*

ایک OR گیٹ میں دو درآمدات اور ایک برآمدہ ہوتے ہیں۔ اس کی لوجک علامت اور صداقتی جدول شکل 14.29 میں دکھائی گئی ہیں۔ برآمدہ Y، 1 ہوتا ہے جب درآمدہ A یا درآمدہ B یا دونوں 1 ہوں، یعنی کہ جب دونوں درمدات میں سے کوئی بھی اعلا ہو تو برآمدہ اعلا ہوتا ہے۔



(a)

برآمدہ	درآمدہ	
Y	B	A
0	0	0
1	1	0
1	0	1
1	1	1

(b)

شکل 14.29: OR گیٹ (a) کی لوجک علامت (b) کا صداقتی جدول

مندرجہ بالا ریاضیاتی لوجک عمل کرنے کے علاوہ یہ گیٹ پلس لہر شکل میں ترمیم کرنے کے لیے بھی استعمال کیا جاسکتا ہے، جیسا کہ مندرجہ ذیل مثال سے وضاحت کی گئی ہے۔

مثال 14.11

مثال 14.8: شکل 14.30 میں دیے گئے OR گیٹ کے مندرجہ ذیل درآمدات A اور B کے لیے برآمدہ لہر شکل (Y) کو درست ثابت کیجیے۔

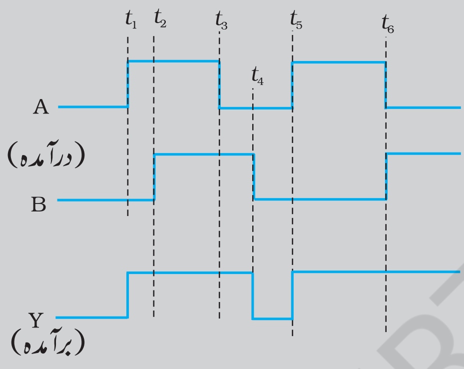
حل: مندرجہ ذیل نوٹ کیجیے:

- $t < t_1$ پر؛ $A = 0, B = 0$؛ اس لیے $Y = 0$
- t_1 سے t_2 تک کے لیے؛ $A = 1, B = 0$؛ اس لیے $Y = 1$
- t_2 سے t_3 تک کے لیے؛ $A = 1, B = 1$؛ اس لیے $Y = 1$

© NCERT not to be republished

- t_3 سے t_4 تک کے لیے؛ $A = 0, B = 1$؛ اس لیے $Y = 1$
- t_4 سے t_5 تک کے لیے؛ $A = 0, B = 0$؛ اس لیے $Y = 0$
- t_5 سے t_6 تک کے لیے؛ $A = 1, B = 0$؛ اس لیے $Y = 1$
- $t > t_6$ کے لیے؛ $A = 0, B = 1$؛ اس لیے $Y = 1$

اس لیے لہر شکل، شکل 14.30 میں دکھائی گئی جیسی ہوگی—

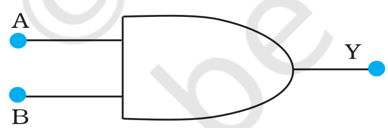


شکل 14.30

مثال 14.8

(iii) اینڈ گیٹ *(AND Gate)*

ایک AND گیٹ میں دو یا اس سے زیادہ درآمدات ہوتے ہیں اور ایک برآمدہ ہوتا ہے۔ AND گیٹ کا برآمدہ Y صرف تب ہی 1 ہوتا ہے جب درآمدہ A اور درآمدہ B دونوں '1' ہوں۔ اس گیٹ کے لیے لوجک علامت اور صداقتی جدول شکل 14.31 میں دکھائے گئے ہیں۔



(a)

برآمدہ	درآمدہ	
Y	B	A
0	0	0
1	1	0
1	0	1
1	1	1

(b)

شکل 14.31: AND گیٹ (a) کی لوجک علامت (b) کا صداقتی جدول

مثال 14.9 : مثال 14.8 سے مشابہ A اور B درآمدہ لہر شکلیں لیجیے۔ AND گیٹ سے حاصل ہونے والی برآمدہ لہر شکل کا خاکہ کھینچیے۔

حل:

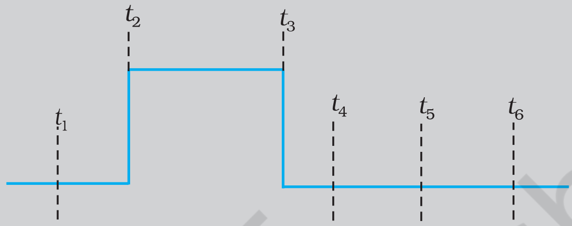
- $t \leq t_1$ کے لیے؛ $A = 0, B = 0$؛ اس لیے $Y = 0$
- t_1 سے t_2 تک کے لیے؛ $A = 1, B = 0$؛ اس لیے $Y = 0$
- t_2 سے t_3 تک کے لیے؛ $A = 1, B = 1$؛ اس لیے $Y = 1$

مثال 14.12

مثال 14.9

- t_3 سے t_4 تک کے لیے؛ $A = 0, B = 1$؛ اس لیے $Y = 0$
- t_4 سے t_5 تک کے لیے؛ $A = 0, B = 0$؛ اس لیے $Y = 0$
- t_5 سے t_6 تک کے لیے $A = 1, B = 0$؛ اس لیے $Y = 0$
- $t > t_6$ کے لیے $A = 0, B = 1$؛ اس لیے $Y = 0$

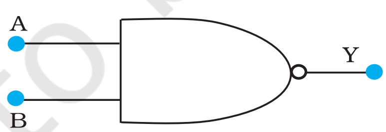
مندرجہ بالا پر مبنی، AND گیٹ کے لیے لہر شکل، نیچے دیے ہوئے طور پر کھینچی جا سکتی ہے۔



شکل 14.32

(iv) نانڈ گیٹ (NAND Gate)

یہ ایک AND گیٹ ہے جس کے بعد NOT گیٹ ہے۔ اگر درآمدات A اور B دونوں '1' ہیں تو برآمدہ Y نہیں ہے۔ اس کا نام اس NOT–AND (AND نہیں) برتاؤ کی وجہ سے ہے۔ شکل 14.33 میں NAND گیٹ کی علامت اور صداقت جدول دکھائے گئے ہیں۔ NAND گیٹ، کائناتی گیٹ بھی کہلاتے ہیں، کیوں کہ ان کو استعمال کر کے ہم دوسرے بنیادی گیٹ جیسے OR، AND اور NOT، حاصل کر سکتے ہیں (مشق 14.12 اور 14.13)۔



(a)

درآمدہ		برآمدہ
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(b)

شکل 14.33: NAND گیٹ (a) کی لوجک علامت (b) کا صداقتی جدول

مثال 14.10

مثال 14.10: مندرجہ ذیل درآمدات A اور B کے ساتھ ایک NAND گیٹ سے حاصل ہونے والے برآمدہ Y کا خاکہ کھینچیے۔

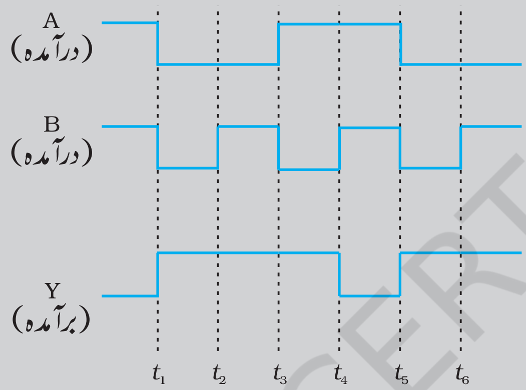
حل:

- $t < t_1$ کے لیے؛ $A = 1, B = 1$؛ اس لیے $Y = 0$

© NCERT not to be republished

مثال 14.10

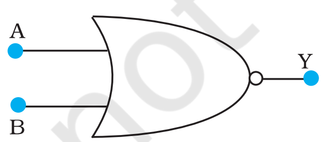
- t_1 سے t_2 تک کے لیے؛ A = 0, B = 0؛ اس لیے Y = 1
- t_2 سے t_3 تک کے لیے؛ A = 0, B = 1؛ اس لیے Y = 1
- t_3 سے t_4 تک کے لیے؛ A = 1, B = 0؛ اس لیے Y = 1
- t_4 سے t_5 تک کے لیے؛ A = 1, B = 1؛ اس لیے Y = 0
- t_5 سے t_6 تک کے لیے؛ A = 0, B = 0؛ اس لیے Y = 1
- $t > t_6$ کے لیے؛ A = 0, B = 1 اس لیے Y = 1



شکل 14.34

(v) نار گیٹ *(NOR Gate)*

اس میں دو یا دو سے زیادہ درآمدات ہوتے ہیں اور ایک برآمدہ ہوتا ہے۔ ایک NOT۔عمل جو OR گیٹ کے بعد لاگو کیا جاتا ہے ایک NOT–OR گیٹ یا سادہ طور پر NOR گیٹ دیتا ہے۔ اس کا برآمدہ Y صرف تب ہی 1 ہوتا ہے جب دونوں درآمدات A اور B صفر ہوں، یعنی کہ ایک درآمدہ اور نہ ہی دوسرا درآمدہ 1 ہو۔ NOR گیٹ کے لیے علامت اور صداقت جدول شکل 14.35 میں دیے گئے ہیں۔



(a)

درآمدہ		برآمدہ
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(b)

شکل 14.15: NOR گیٹ کے لیے (a) لوجک علامت (b) صداقت جدول

NOR گیٹوں کو کائناتی گیٹ مانا جاتا ہے کیوں کہ NOT، OR، AND جیسے تمام گیٹ صرف NOR گیٹ استعمال کرکے حاصل کیے جاسکتے ہیں (مشق 14.14 اور مشق 14.15)

© NCERT not to be republished

تیز سے تیز تر اور چھوٹے سے چھوٹا: کمپیوٹر ٹیکنالوجی کا مستقبل

(FASTER AND SMALLER: THE FUTURE OF COMPUTER TECHNOLOGY)

اجمالی چپ (IC) تمام کمپیوٹر نظاموں کے قالب پر پیوست ہے۔ دراصل ICs تقریباً تمام برقی آلات، جیسے موٹریں، ٹیلی ویژن، CD پلیئر، سیل فون وغیرہ، میں پائے جاتے ہیں۔ کوچک کاری (miniaturisation) جس نے جدید ذاتی کمپیوٹر کو ممکن بنایا، IC کے بغیر کبھی نہیں کی جا سکتی تھی۔ ICs وہ الیکٹرانیاتی آلات ہیں جن میں کئی ٹرانسسٹر، مزاحمے، کپیسٹر، جوڑنے والے تار—سب ایک بنڈل (Package) میں ہوتے ہیں۔ آپ نے مائیکروپروسسر کے بارے میں ضرور سنا ہوگا۔ مائیکروپروسسر ایک ایسا IC ہے جو ایک کمپیوٹر میں تمام اطلاعات پر عمل کاری کرتا ہے، جیسے کون سی کنجیاں دبائی گئی ہیں، کون سے پروگرام، کھیل وغیرہ چلائے جا رہے ہیں، ان سب کا حساب رکھنا۔ IC سب سے پہلے جیک کلکی نے 1958 میں ٹیکساس انسٹرومنٹ میں ایجاد کیا۔ اس ایجاد کے لیے انھیں 2000 میں نوبل انعام سے نوازا گیا۔ ICs ایک نیم موصل کرسٹل کے ٹکڑے (یا چپ) پر، فوٹوسنگ کاری کہے جانے والے عمل کے ذریعے، بنائے جاتے ہیں۔ اس لیے پوری اطلاعات ٹیکنالوجی (IT) نیم موصلوں پر ٹکی ہوئی ہے۔ پچھلے برسوں میں ICs کی پیچیدگی میں اضافہ ہوتا جا رہا ہے جب کہ اس پر مبنی کمپیوٹر ٹیکنالوجی کے سائز میں کمی آتی جا رہی ہے۔ پچھلی پانچ دہائیوں میں، کمپیوٹر ٹیکنالوجی میں جوڈرامائی کوچک کاری ہوئی ہے اس نے جدید کمپیوٹروں کو مزید تیز رفتار اور سائز میں اور چھوٹا بنا دیا ہے۔ 1970 کی دہائی میں، گورڈن مور، INTEL کے بانیوں میں سے ایک، نے یہ نشان دہی کی کہ ایک چپ (IC) کی یادداشت گنجائش ہر ڈیڑھ برس کے عرصے میں تقریباً دوگنی ہوتی جا رہی ہے۔ یہ عام طور سے مور کے قانون کے نام سے مقبول ہے۔ ٹرانسسٹروں کی تعداد فی چپ میں قوت نمائی طور پر اضافہ ہوا ہے اور ہر سال پہلے کے مقابلے میں زیادہ طاقت ور کمپیوٹر بازار میں آجاتے ہیں اور ان کی قیمت پچھلے سال والے کمپیوٹر کے مقابلے میں کم ہوتی ہے۔ موجودہ رجحان کے پیش نظر کہا جا سکتا ہے کہ 2020 میں کمپیوٹر 40GHz (40,000 MHz) پر چلیں گے اور موجودہ کمپیوٹروں کے مقابلے میں زیادہ استعداد والے، کہیں چھوٹے اور کم مہنگے ہوں گے۔ نیم موصل صنعت اور کمپیوٹر ٹیکنالوجی میں ہونے والی دھماکہ خیز ترقی گورڈن مور کے اس قول سے بخوبی واضح ہو جاتی ہے: ''اگر موٹر گاڑیوں کی صنعت بھی اسی رفتار سے ترقی کرتی ہے، جس رفتار سے نیم موصل صنعت ترقی کر رہی ہے تو ایک رولس رائس موٹر ایک گیلن میں پانچ لاکھ میل چل سکے گی اور اسے کہیں کھڑا کرنے کا کرایہ (پارکنگ) اس کی قیمت سے زیادہ ہوگا''

© NCERT not to be republished

خلاصہ

1۔ نیم موصل موجودہ ٹھوس حاصل الیکٹرانک آلات، جیسے ڈایوڈ، ٹرانسسٹر ICs وغیرہ، میں استعمال ہونے والی بنیادی مادی اشیا ہیں۔

2۔ جز ترکیبی عناصر کی لیٹس ساخت اور ایٹمی ساخت یہ متعین کرتی ہیں کہ ایک مخصوص مادی شے حاجز ہوگی، دھات ہوگی یا نیم موصل ہوگی۔

3۔ دھاتوں کی مزاحمیت خفیف ہوتی ہے۔ (10^{-2} سے 10^{-8} Ωm تک)، حاجزوں کی مزاحمیت بہت اعلا درجے کی ہوتی ہے ($>10^{8}$ Ωm^{-1}) اور نیم موصلوں کی مزاحمیت کی قدریں ان کے درمیان ہوتی ہیں۔

4۔ نیم موصل عنصری بھی ہوتے ہیں (Si, Ge) اور مرکب بھی (GaAs، CdS وغیرہ)۔

5۔ خالص نیم موصل ''ذاتی نیم موصل'' کہلاتے ہیں۔ چارج حاملوں (الیکٹران اور سوراخ) کی موجودگی، مادی شے کی ایک ذاتی خاصیت ہے اور یہ حرارتی اشتعال کے ذریعے حاصل ہوتے ہیں۔ ذاتی موصلوں میں الیکٹرانوں کی تعداد (n_e)، سوراخوں کی تعداد (n_h) کے مساوی ہوتی ہے۔ سوراخ دراصل الیکٹران خلو ہیں، جن کا ایک موثر مثبت چارج ہوتا ہے۔

6۔ خالص نیم موصلوں میں ایک مناسب ملاوٹ کی ڈوپنگ کرکے چارج حاملوں کی تعداد تبدیل کی جاسکتی ہے۔ ایسے نیم موصل، بیرونی نیم موصل کہلاتے ہیں۔ ان کی دو قسمیں ہیں (n– قسم اور p– قسم)۔

7۔ ایک n– قسم نیم موصل میں، $n_e >> n_h$، جب کہ ایک p– قسم نیم موصل میں $n_h >> n_e$ ۔

8۔ n– قسم کے Si یا Ge نیم موصل، پنج گرفتی ایٹموں (عطا کاروں) جیسے As، Sb، P وغیرہ سے ڈوپنگ کرکے حاصل کیے جاتے ہیں، جب کہ p– قسم کے Si یا Ge نیم موصل سہ گرفتی ایٹموں (حصول کاروں) جیسے B، Al وغیرہ سے ڈوپنگ کرکے حاصل کیے جاسکتے ہیں۔

9۔ تمام صورتوں میں: $n_e n_h = n_i^2$ ۔ مزید مادی شے میں مجموعی طور پر چارج تعدیلیت پائی جاتی ہے۔

10۔ توانائیوں کے دو واضح بینڈ ہوتے ہیں (جو گرفت بینڈ اور ایصال بینڈ کہلاتے ہیں)، جن میں ایک مادی شے کے الیکٹران رہتے ہیں۔ گرفت بینڈ کی توانائیاں، ایصال بینڈ کی توانائیوں کے مقابلے میں کم ہوتی ہیں، ایک گرفت بینڈ کی تمام توانائی منازل بھری ہوتی ہیں جب کہ ایصال بینڈ میں توانائی منازل مکمل طور پر خالی یا جزوی طور پر بھری ہوئی ہوسکتی ہیں۔ ایصال بینڈ میں الیکٹران ٹھوس میں حرکت کرنے کے لیے آزاد ہوتے ہیں اور یہ ایصالیت کے لیے ذمہ دار ہیں۔ ایصالیت کتنی ہوگی یہ گرفت بینڈ کی اوپری سطح کی توانائی (E_V) اور ایصال بینڈ کی نچلی سطح کی توانائی E_C کے درمیان توانائی فصل (E_g) پر منحصر

ہے۔ گرفت بینڈ سے الیکٹرانوں کو حرارت، روشنی یا برقی توانائی کے ذریعے مشتعل کر کے ایصالی بینڈ میں پہنچایا جا سکتا ہے اور اس طرح ان کے ذریعے نیم موصل میں بہہ رہے کرنٹ کو تبدیل کیا جا سکتا ہے۔

11۔ حاجزوں کے لیے: $E_g > 3$ eV، نیم موصلوں کے لیے E_g، 0.2 eV سے 3.0 eV تک ہے، جب کہ دھاتوں کے لیے $E_g = 0$

12۔ p–n جنکشن تمام نیم موصل آلات کی کنجی ہے۔ جب ایک ایسا جنکشن بنایا جاتا ہے تو ایک عسرتی تہہ تشکیل پاتی ہے جو ایسے غیر متحرک آئن۔ قالبوں پر مشتمل ہوتی ہے جو اپنے الیکٹرانوں یا سوراخوں سے عاری ہوتے ہیں۔ یہ جنکشن پوٹینشیل روک کے لیے ذمہ دار ہے۔

13۔ بیرونی اطلاقی وولٹیج کو تبدیل کر کے جنکشن روک کو تبدیل کیا جا سکتا ہے۔ پیش میلان (n–جانب بیٹری کے منفی ٹرمینل سے منسلک ہے اور p–جانب مثبت ٹرمینل سے منسلک ہے) میں روک کم ہو جاتی ہے جب کہ پس میلان میں روک میں اضافہ ہو جاتا ہے۔ اس لیے پیش میلان کرنٹ زیادہ ہوتا ہے (mA) جب کہ p–n جنکشن ڈایوڈ میں یہ بہت خفیف ہوتا ہے (μA)۔

14۔ ڈایوڈ ایک ac وولٹیج کی سمت کاری (ac وولٹیج کو ایک سمت میں محدود رکھنا) کے لیے استعمال کیے جا سکتے ہیں۔ ایک کپیسٹر یا مناسب فلٹر کی مدد سے ایک dc وولٹیج حاصل کی جا سکتی ہے۔

15۔ کچھ مخصوص غایت ڈایوڈ ہیں۔

16۔ زینر ڈایوڈ ایک ایسا ہی مخصوص غایت ڈایوڈ ہے۔ پس میلان میں، ایک زینر ڈایوڈ میں، ایک مخصوص وولٹیج (تعطل وولٹیج) کے بعد کرنٹ اچانک بڑھ جاتا ہے۔ یہ خاصیت وولٹیج تعدیل کاری میں استعمال کی جاتی ہے۔

17۔ p–n جنکشن ڈایوڈ کئی فوٹانک یا نوری۔الیکٹرانک آلات بنانے میں بھی استعمال کیے گئے ہیں۔ ایسے آلات جن میں حصہ لینے والی ایک شے ''فوٹان'' ہوتی ہے۔ (a) فوٹان ڈایوڈ وہ ہوتے ہیں جن میں فوٹان اشتعال کے نتیجے میں پس سیری کرنٹ میں تبدیلی ہوتی ہے جو روشنی کی شدت کی پیمائش میں مدد کرتی ہے۔ (b) شمسی سیل، جو فوٹان توانائی کو برق میں تبدیل کرتے ہیں (c) روشنی خارج کرنے والے ڈایوڈ یا ڈایوڈ لیزر، جن میں ایک میلان وولٹیج کے ذریعے الیکٹران اشتعال کے نتیجے میں روشنی پیدا ہوتی ہے۔

18۔ کچھ مخصوص سرکٹ ہیں جو 0 اور 1 منازل پر مبنی ہندسی آنکڑوں کو برتتے ہیں۔ یہ ہندسی الیکٹرانیات کا موضوع ہے۔

19۔ اہم ہندسی سرکٹ جو مخصوص لوجک عمل کرتے ہیں، لوجک گیٹ کہلاتے ہیں۔ یہ ہیں OR، AND، NAND اور NOR گیٹ۔

© NCERT not to be republished

قابل غور نکات

1۔ نیم مرصلوں میں توانائی فصل (E_VیاE_C) فضا غیر مرتکز (Space Delocalised) ہوتے ہیں۔ اس کا مطلب ہے کہ یہ ٹھوس میں کسی ایک خاص مقام پر مرتکز نہیں ہوتے۔ یہ توانائیاں مجموعی اوسط ہیں۔ جب آپ کوئی ایسی تصویریں دیکھتے ہیں جن میں E_VیاE_C خطِ مستقیم کے ذریعے ظاہر کیا گیا ہوتا ہے، تب ہمیں یہ سمجھنا چاہیے کہ یہ، بالترتیب، ایصال بینڈ کی نچلی سطح اور گرفت بینڈ کی بالائی سطح کی توانائی منازل ہیں۔

2۔ عناصری نیم موصلوں (Ge یا Si) میں، n- قسم اور p- قسم کے نیم موصل، ڈوپ کاروں (dopants) کو بہ طور نقص شامل کر کے، حاصل کیے جاتے ہیں۔ مرکب نیم موصلوں میں ان کے عناصر کے آپسی تناسب پیمائی تناسبوں کو تبدیل کر کے بھی نیم موصل کی قسم کو تبدیل کیا جا سکتا ہے۔ مثلاً، ایک مثالی Ga As میں Ga : As تناسب 1 : 1 ہوتا ہے، لیکن ایک زائد Ga یا زائد As، Ga As میں یہ تناسب، بالترتیب، $Ga_{1.1}\ As_{0.9}$ یا $Ga_{0.9}\ As_{1.1}$ بھی ہو سکتا ہے۔ عمومی طور پر، نقائص کی موجودگی، نیم موصل کی خاصیتوں کو کئی طریقے سے کنٹرول کرتی ہے۔

3۔ ٹرانسٹروں میں، بنیاد علاقہ، پتلا اور ہلکا ڈوپ کیا ہوا ہوتا ہے۔ ورنہ درآمدہ جانب سے آرہے الیکٹران یا سوراخ (جیسے CE۔ تشاکل میں مخروج ہے) جمع کار تک نہیں پہنچ پائیں گے۔

4۔ جدید دور کے سرکٹوں میں کئی لوجک گیٹوں یا سرکٹوں کو ایک واحد چپ پر اجمالی صورت میں لگا دیا جاتا ہے۔ یہ اجمالی سرکٹ (IC) کہلاتے ہیں۔

مشق

14.1۔ ایک n- قسم سلی کون کے لیے مندرجہ ذیل میں سے کون سا بیان درست ہے:

(a) الیکٹران اکثریتی حامل ہیں اور سہ گرفتی ایٹم ڈوپ کار ہیں۔

(b) الیکٹران اقلیتی حامل ہیں اور پنج گرفتی ایٹم ڈوپ کار ہیں۔

(c) سوراخ اقلیتی حامل ہیں اور پنج گرفتی ایٹم ڈوپ کار ہیں۔

(d) سوراخ اکثریتی حامل ہیں اور سہ گرفتی ایٹم ڈوپ کار ہیں۔

14.2۔ مشق 14.1 میں دیے ہوئے بیانات میں سے کون سا بیان p- قسم نیم موصلوں کے لیے درست ہے۔

© NCERT not to be republished

14.3 کاربن، سلی کون اور جرمینیم میں سے ہر ایک میں 4 گرفت الیکٹران ہوتے ہیں۔ ان کی خاصیت یہ ہے کہ ان کے گرفت بینڈ اور ایصال بینڈ ایک دوسرے سے توانائی بینڈ فصل کے ذریعے علیحدہ ہوتے ہیں، جو بالترتیب $(E_g)_c$، $(E_g)_{si}$ اور $(E_g)_{Ge}$ کے مساوی ہوتے ہیں۔ مندرجہ ذیل بیانات میں سے کون سا بیان درست ہے:

(a) $(E_g)_{si} < (E_g)_{Ge} < (E_g)_c$

(b) $(E_g)_c < (E_g)_{Ge} > (E_g)_{si}$

(c) $(E_g)_c > (E_g)_{si} > (E_g)_{Ge}$

(d) $(E_g)_c = (E_g)_{si} = (E_g)_{Ge}$

14.4 ایک غیر مائل p-n جنکشن میں، سوراخ p-علاقہ سے n-علاقہ کی جانب نفوذ کرتے ہیں، کیونکہ

(a) n-علاقے کے آزاد الیکٹران انھیں کشش کرتے ہیں۔

(b) وہ مضمر فرق کے ذریعے جنکشن سے گذرتے ہیں۔

(c) n-علاقہ کے مقابلے میں p-علاقہ میں سوراخوں کا ارتکاز زیادہ ہوتا ہے۔

(d) اوپر دیے ہوئے تمام بیانات۔

14.5 جب ایک p-n جنکشن پر پیش میلان کا اطلاق کیا جاتا ہے تو اس سے

(a) مضمر روک میں اضافہ ہوتا ہے۔

(b) اکثریتی حامل کرنٹ کم ہو کر صفر ہو جاتا ہے۔

(c) مضمر روک میں کمی آجاتی ہے۔

(d) مندرجہ بالا بیانات میں سے کوئی نہیں۔

14.6 نصف-لہر سمت کاری میں، برآمدہ تعدد کیا ہوگا، اگر درآمدہ تعدد 50 Hz ہے۔ یکساں درآمدہ تعدد کے لیے ایک مکمل-لہر سمت کار کا برآمدہ تعدد کیا ہوگا؟

14.7 ایک p-n فوٹو ڈایوڈ ایک ایسے نیم موصل سے بنایا گیا ہے، جس کا بینڈ فصل 2.8 eV ہے۔ کیا یہ 6000 nm کی طویل لہر شناخت کر سکتا ہے؟

مزید مشق

14.8 سلی کون ایٹموں کی تعداد فی m^3، 5×10^{28} ہے۔ اسے بہ یک وقت آرسینک کے 5×10^{22} ایٹم فی m^3 اور انڈیم کے 5×10^{22} ایٹم فی m^3 سے ڈوپ کیا جاتا ہے۔ الیکٹرانوں اور سوراخوں کی تعداد کا حساب لگائیے۔

دیا ہے: $n_i = 1.5 \times 10^{16}\ m^{-3}$، مادی شے p-قسم کی ہے یا n-قسم کی؟

© NCERT not to be republished

14.9 ۔ایک ذاتی نیم موصل میں، توانائی فصل E_g، 1.2eV ہے۔اس کی سوراخ روانی، الیکٹران روانی کے مقابلے میں بہت کم ہے اور درجہ حرارت کے غیر تابع ہے۔600K پر ایصالیت اور 300K پر ایصالیت کے درمیان کیا نسبت ہوگی؟ فرض کر لیجیے کہ ذاتی حامل ارتکاز n_i کا درجہ حرارت انحصار دیا جاتا ہے۔

$n_i = n_0 \exp\left(-\dfrac{E_g}{2k_B T}\right)$، جہاں n_0 ایک مستقلہ ہے۔

14.10 ۔ ایک p-n جنکشن ڈایوڈ میں کرنٹ کو ظاہر کیا جا سکتا ہے: $I = I_0 \exp\left(\dfrac{eV}{2k_B T} - 1\right)$ جہاں I_0، پس سیری کرنٹ کہلاتا ہے، V ڈایوڈ کے سروں کے درمیان وولٹیج ہے، اور I ڈایوڈ میں سے گذرنے والا کرنٹ ہے، k_B، بولٹز مین مستقلہ (8.6×10^{-5} eV/K) اور T مطلق درجہ حرارت ہے۔ ایک دیے ہوئے ڈایوڈ کے لیے: $I_0 = 5 \times 10^{-12}$ A اور T=300K، تب

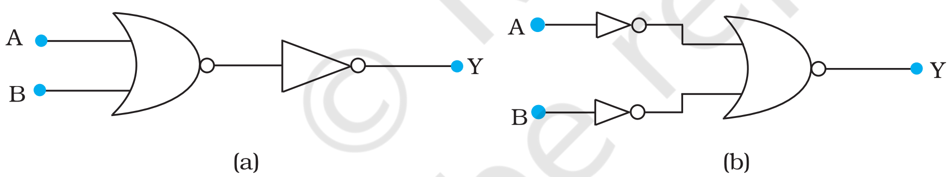
(a) پیش وولٹیج 0.6 V پر پیش کرنٹ کیا ہوگا؟

(b) اگر ڈایوڈ کے سروں کے درمیان وولٹیج بڑھا کر 0.7 V کر دیا جائے تو کرنٹ میں کیا اضافہ ہوگا؟

(c) حرکی مزاحمت کیا ہے؟

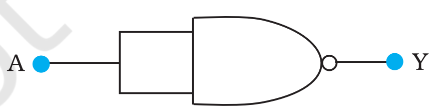
(d) اگر پس میلان وولٹیج 1 V سے بدل کر 2 V کر دی جائے تو کرنٹ کیا ہوگا؟

14.11 ۔ آپ کو دو سرکٹ دیے گئے ہیں، جیسا کہ شکل 14.36 میں دکھایا گیا ہے۔ دکھایئے کہ سرکٹ (a) بطور OR گیٹ کام کرتا ہے اور سرکٹ (b) AND گیٹ کے بطور کام کرتا ہے۔



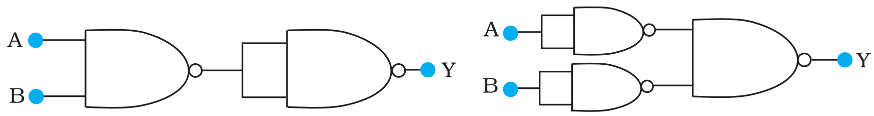
شکل 14.36

14.12 ۔ شکل 14.37 میں دکھائے گئے طریقے سے جڑے ہوئے NAND گیٹ کے لیے صداقت جدول لکھیے۔ اور پھر اس سرکٹ کے ذریعے انجام دیے گئے لوجک عملوں کو درست طور پر شناخت کیجیے۔



شکل 14.37

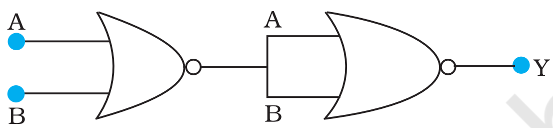
14.13 ۔ آپ کو شکل 14.38 میں دکھائے گئے دو سرکٹ دیے گئے ہیں، جو NAND گیٹوں پر مشتمل ہیں۔ دونوں سرکٹوں کے ذریعے انجام دیے جانے والے لوجک عملوں کی شناخت کیجیے۔



(a) (b)

شکل 14.38

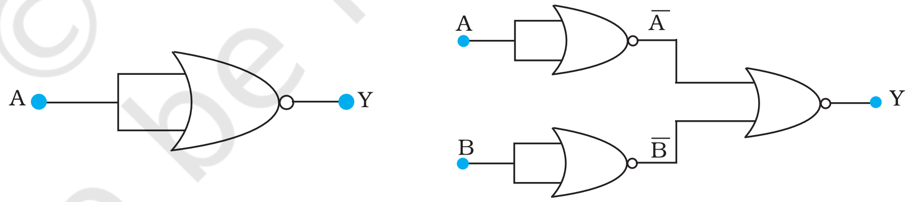
14.14۔ نیچے شکل 14.39 میں دکھائے گئے سرکٹ کے لیے، صداقت جدول لکھیے، جو NOR گیٹوں پر مشتمل ہے اور یہ سرکٹ جو لوجک عمل (OR، AND، NOT) انجام دے رہا ہے۔ انھیں شناخت کیجیے۔



شکل 14.39

اشارہ: A=0، B=1 تب دوسرے NOR گیٹ کے A اور B درآمدات 0 ہوں گے اور اس لیے Y=1 اسی طرح A اور B کے دیگر اجتماعات کے لیے Y کی قدریں حاصل کیجیے۔ OR، AND، NOT گیٹوں کے صداقت جدول سے مقابلہ کیجیے اور درست گیٹ معلوم کیجیے۔

14.15۔ شکل 14.40 میں دیے گئے سرکٹوں کے لیے صداقت جدول لکھیے، جو NOR گیٹوں پر مشتمل ہیں۔ دونوں سرکٹوں کے ذریعے انجام دیے گئے لوجک عملوں (OR، AND، NOT) کی شناخت کیجیے۔



(a) (b)

شکل 14.40

14.16۔ دو افزائش کار، ایک کے بعد ایک سلسلہ وار طرز میں جوڑے گئے ہیں (آبشار شدہ Cascaded)۔ پہلے افزائش کار کا وولٹیج اضافہ 10 ہے اور دوسرے کا 20 ہے۔ اگر درآمدہ سگنل 0.01V ہے تو برآمدہ ac سگنل کا حساب لگائیے۔

© NCERT not to be republished