Electronic Devices and Circuit Theory (Boylestad)

ملخّص الفصل ١

الفصل الأول: الثنائيات شبه الموصلة

Chapter 1 – Semiconductor Diodes

إلكترونيات Boylestad — ملخّص مراجعة شامل للاختبار
مرجع مراجعة بالعربية — تعريفات ومقارنات وأمثلة محلولة خطوة بخطوة

إعداد وشرح

Eng. Emad Mahdy

دوائر كهربية • إلكترونيات • إشارات وأنظمة • معالجات دقيقة

WhatsApp: +20 12 7148 2006

YouTube: si-manual (Eng. Emad Mahdy)

https://si-manual.com

لمزيد من الملخّصات والشروح تابع القناة والموقع

فهرس المحتويات

1) مقدمة – Introduction
2) مواد أشباه الموصلات – Semiconductor Materials Ge Si and GaAs
3) الروابط التساهمية والمواد النقية – Covalent Bonding and Intrinsic Materials
4) مستويات الطاقة – Energy Levels
5) المواد من النوع السالب والموجب – n-Type and p-Type Materials
6) الدايود شبه الموصل – Semiconductor Diode
7) الدايود المثالي والعملي – Ideal Versus Practical
8) مستويات المقاومة – Resistance Levels
9) الدوائر المكافئة للدايود – Diode Equivalent Circuits
10) سعة الانتقال وسعة الانتشار – Transition and Diffusion Capacitance
11) زمن الاستعادة العكسية – Reverse Recovery Time
12) مواصفات الدايود – Diode Specification Sheets
13) رموز الدايود واختباره – Diode Notation and Testing
14) دايود الزينر – Zener Diodes
15) الدايود الباعث للضوء – Light-Emitting Diodes
16) ملخّص القوانين – Formula Summary

1) مقدمة – Introduction

The first integrated circuit (IC) was developed by Jack Kilby while working at Texas Instruments in 1958.

أول دائرة متكاملة صنعها جاك كيلبي في شركة تكساس إنسترومنتس سنة ١٩٥٨.

Today, the Intel Core i7 Extreme Edition Processor has 731 million transistors in a package that is only slightly larger than 1.67 square inches.

واليوم يحتوي معالج واحد على مئات الملايين من الترانزستورات في مساحة صغيرة جدًا.

In 1965, Dr. Gordon E. Moore predicted that the transistor count in a single IC chip would double every two years.

هذا هو قانون مور: عدد الترانزستورات في الشريحة الواحدة يتضاعف كل سنتين، وما زال التوقّع صحيحًا إلى حدّ كبير.

Further miniaturization appears to be limited by four factors: the quality of the semiconductor material, the network design technique, the limits of the manufacturing and processing equipment, and the strength of the innovative spirit in the semiconductor industry.

وتصغير الأجهزة أكثر من ذلك تحدّه أربعة عوامل: جودة المادة شبه الموصلة، وطريقة تصميم الدوائر، وحدود معدات التصنيع، وروح الابتكار في الصناعة.

The first device to be introduced is the diode: the simplest of all electronic devices, yet with a range of applications that seems endless.

وأول عنصر ندرسه هو الدايود، وهو أبسط العناصر الإلكترونية لكن تطبيقاته كثيرة جدًا.

2) مواد أشباه الموصلات – Semiconductor Materials Ge Si and GaAs

Semiconductors are a special class of elements having a conductivity between that of a good conductor and that of an insulator.

أشباه الموصلات فئة خاصة من العناصر، قدرتها على التوصيل الكهربي تقع بين الموصل الجيد والعازل.

Semiconductor materials fall into one of two classes: single-crystal and compound.

وتنقسم أشباه الموصلات إلى نوعين:

وجه المقارنة	Single-crystal أحادية البلورة	Compound مركّبة
التركيب	بلورة واحدة لها تركيب متكرّر	مادتان أو أكثر لهما تركيب ذري مختلف
أمثلة	الجرمانيوم والسيليكون	زرنيخيد الغاليوم

الجرمانيوم – Germanium Ge

استُخدم الجرمانيوم في البداية تقريبًا وحده، لأنه متوفّر وسهل التنقية إلى درجة نقاء عالية.

وعيبه الأساسي ضعف الاعتمادية، لأنه حسّاس جدًا لتغيّر درجة الحرارة، ولا يزال يُصنع لتطبيقات محدودة.

السيليكون – Silicon Si

في سنة ١٩٥٤ ظهر أول ترانزستور من السيليكون، وأصبح بسرعة المادة المفضّلة في الصناعة.

فهو أقل حساسية للحرارة من الجرمانيوم، ومن أكثر المواد وفرة على الأرض، ولا يزال المادة الأساسية في صناعة الدوائر المتكاملة.

زرنيخيد الغاليوم – Gallium Arsenide GaAs

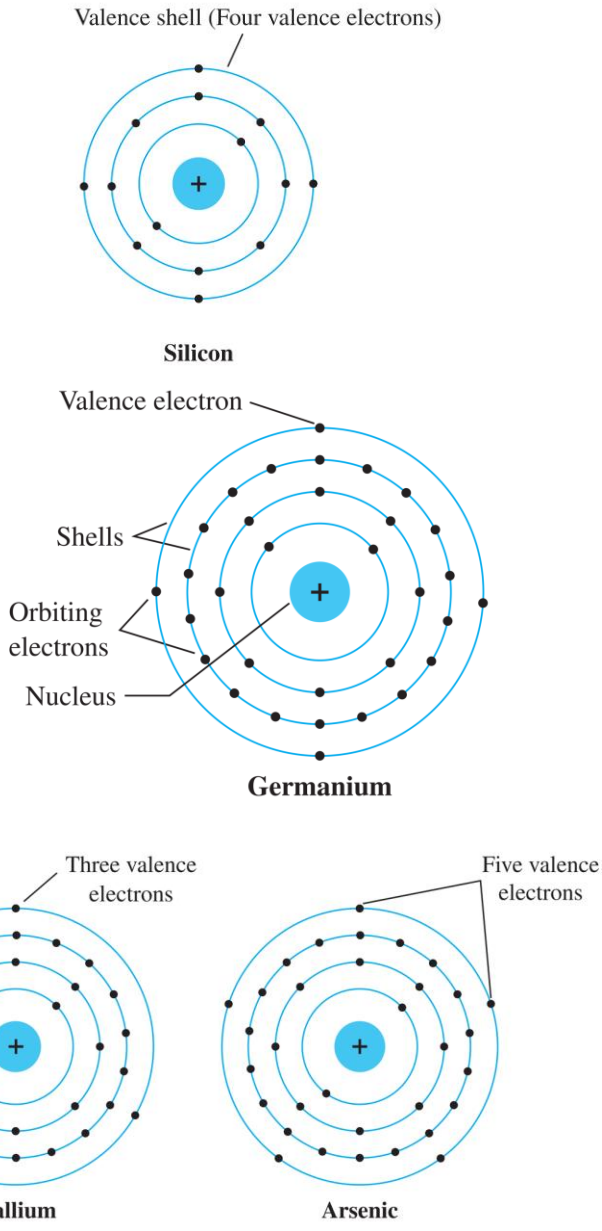
ظهر أول ترانزستور منه في أوائل السبعينيات لتلبية الحاجة إلى سرعات أعلى في الحاسبات والاتصالات.

سرعة تشغيله تصل إلى خمسة أضعاف السيليكون، لكن تصنيعه بنقاء عالٍ أصعب وأغلى، ويُستخدم اليوم في الدوائر عالية السرعة.

نموذج بور للذرة – The Bohr Model

Silicon has 14 orbiting electrons, germanium has 32, gallium has 31 and arsenic has 33.

عدد الإلكترونات: السيليكون ١٤، والجرمانيوم ٣٢، والغاليوم ٣١، والزرنيخ ٣٣.



Valence electrons: the electrons in the outermost shell of the atom. The potential (ionization potential) required to remove any one of them is called the valence.

إلكترونات التكافؤ هي إلكترونات الغلاف الخارجي للذرة، والجهد اللازم لنزع واحد منها اسمه جهد التأيّن.

التسمية	عدد إلكترونات التكافؤ	مثال
Trivalent ثلاثي التكافؤ	٣	الغاليوم
Tetravalent رباعي التكافؤ	٤	السيليكون والجرمانيوم
Pentavalent خماسي التكافؤ	٥	الزرنيخ

Covalent Bonding – الروابط التساهمية

Covalent bonding: bonding of atoms strengthened by the sharing of electrons.

الرابطة التساهمية ترابط بين الذرات يقوى بمشاركة الإلكترونات بينها.

In a pure silicon or germanium crystal the four valence electrons of one atom form a bonding arrangement with four adjoining atoms.

في بلورة السيليكون أو الجرمانيوم النقية تكوّن إلكترونات التكافؤ الأربعة لكل ذرة روابط مع أربع ذرات مجاورة.

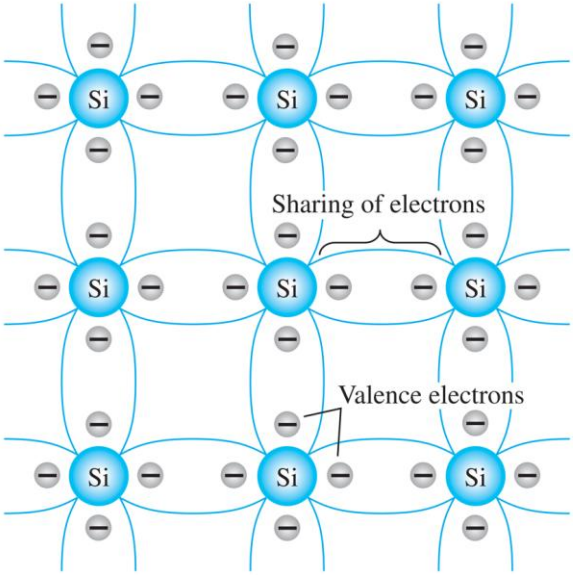


FIG. 1.4

Covalent bonding of the silicon atom.

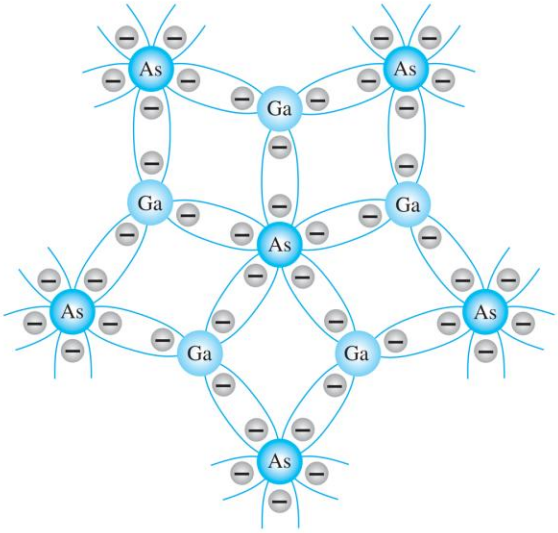


FIG. 1.5

Covalent bonding of the GaAs crystal.

Although the covalent bond results in a stronger bond, it is still possible for the valence electrons to absorb sufficient kinetic energy from external causes to break the bond and assume the free state.

ورغم قوة الرابطة، يستطيع إلكترون التكافؤ أن يكتسب طاقة كافية من الضوء أو الحرارة فيكسر الرابطة ويصبح إلكترونًا حرًا.

المواد النقية والحاملات الذاتية – Intrinsic Materials

Intrinsic materials: semiconductor materials that have been carefully refined to reduce the number of impurities to a very low level. The free electrons due only to external causes are called intrinsic carriers.

المادة النقية مادة شبه موصلة نُقّيت حتى صارت الشوائب فيها قليلة جدًا، والإلكترونات الحرة الناتجة عن مؤثّر خارجي فقط اسمها الحاملات الذاتية.

المادة	Intrinsic carriers الحاملات الذاتية لكل سم مكعب	Electron mobility حركية الإلكترونات
GaAs	**1.7 × 10^6**	**8500**
Si	**1.5 × 10^10**	**1500**
Ge	**2.5 × 10^13**	**3900**

Relative mobility: the ability of the free carriers to move throughout the material.

الحركية النسبية هي قدرة حاملات الشحنة الحرة على التحرّك داخل المادة، وكلما زادت كان الجهاز أسرع.

تأثير الحرارة – Effect of Heat

One important difference between semiconductors and conductors is their reaction to the application of heat.

من أهم الفروق بين الموصلات وأشباه الموصلات طريقة استجابتها للحرارة:

وجه المقارنة	Conductor الموصل	Semiconductor شبه الموصل
معامل الحرارة	موجب	سالب
أثر زيادة الحرارة	تزيد المقاومة	تقلّ المقاومة
السبب	اهتزاز الذرات يعيق حركة الإلكترونات	تتحرّر إلكترونات أكثر فيزيد عدد الحاملات

4) مستويات الطاقة – Energy Levels

The regions between the allowed energy levels are called energy gaps. An electron cannot exist at an energy value between two allowed energy levels.

المناطق بين مستويات الطاقة المسموحة اسمها فجوات الطاقة، ولا يمكن أن يوجد إلكترون عند طاقة بين مستويين مسموحين.

The farther an electron is from the nucleus, the higher its energy state, and a free electron has more energy than any electron still bound to the atom.

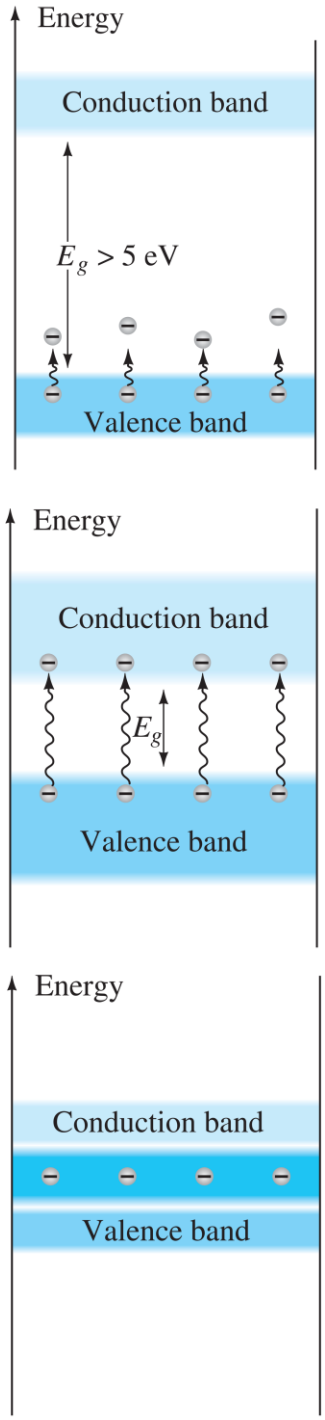
وكلما ابتعد الإلكترون عن النواة زادت طاقته، والإلكترون الحر طاقته أعلى من أي إلكترون ما زال مرتبطًا بالذرة.

When atoms come close together to form a solid, their discrete energy levels expand into energy bands.

وعندما تتقارب الذرات لتكوّن مادة صلبة، تتّسع المستويات المنفصلة فتصبح نطاقات طاقة:

النطاق	المحتوى
Valence band نطاق التكافؤ	إلكترونات ما زالت مرتبطة بالتركيب الذري
Conduction band نطاق التوصيل	إلكترونات حرة تتحرّك داخل المادة وتكوّن التيار
Energy gap فجوة الطاقة	الطاقة التي يجب أن يكتسبها الإلكترون لينتقل من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل

المادة	فجوة الطاقة	السلوك
Insulator العازل	أكبر من خمسة إلكترون فولت	لا تكفي طاقة الإلكترونات للوصول إلى نطاق التوصيل
Semiconductor شبه الموصل	**GaAs 1.43 eV, Si 1.1 eV, Ge 0.67 eV**	تستطيع بعض الإلكترونات العبور عند اكتساب طاقة
Conductor الموصل	النطاقان متداخلان	إلكترونات حرة كثيرة دائمًا


Energy
Conduction band
$E_g > 5$ eV
Valence band
Energy
Conduction band
E_g
Valence band
Energy
Conduction band
Valence band

الإلكترون فولت – Electron Volt

One electron volt is the energy gained by one electron when it moves through a potential difference of one volt.

الإلكترون فولت هو الطاقة التي يكتسبها إلكترون واحد عند انتقاله خلال فرق جهد مقداره فولت واحد.

الطاقة

$$W = QV$$

$$1\,\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}$$

5) المواد من النوع السالب والموجب – n-Type and p-Type Materials

The addition of one part of impurity per million in a wafer of silicon material can change a relatively poor conductor into a good conductor of electricity.

إضافة جزء واحد من الشوائب لكل مليون جزء من السيليكون تكفي لتحويله من موصل ضعيف إلى موصل جيد، وهذه العملية اسمها التطعيم.

Extrinsic material: a semiconductor material that has been subjected to the doping process.

المادة غير النقية هي مادة شبه موصلة أُضيفت إليها شوائب بنسبة محسوبة.

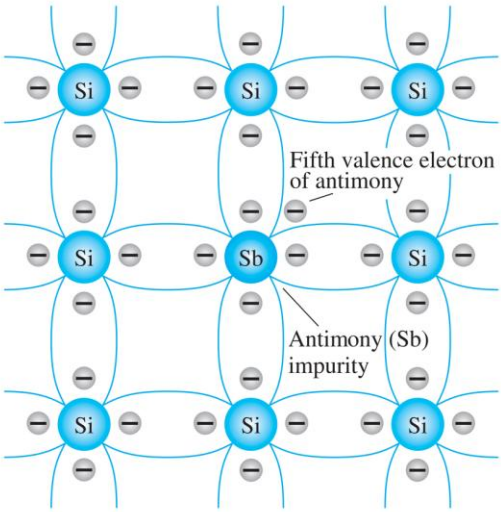


FIG. 1.7

Antimony impurity in n-type material.

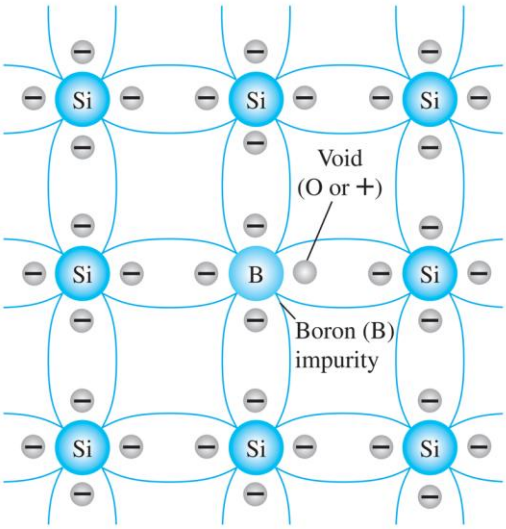
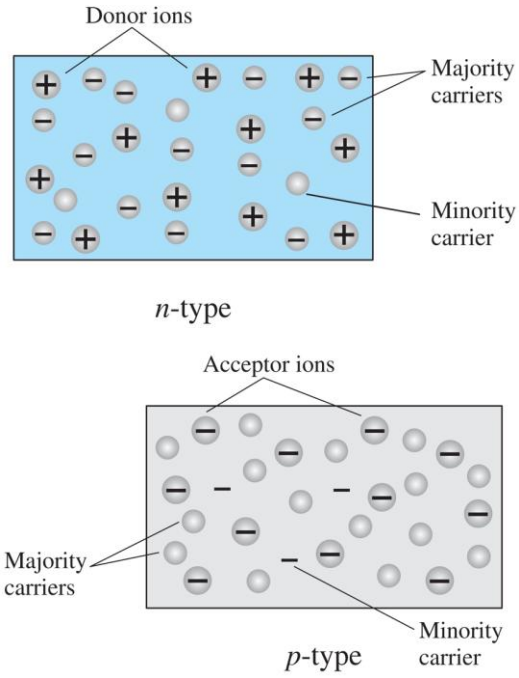


FIG. 1.9

Boron impurity in p-type material.

وجه المقارنة	n-type النوع السالب	p-type النوع الموجب
طريقة التكوين	تطعيم بذرات خماسية التكافؤ مثل الأنتيمون والزرنيخ والفوسفور	تطعيم بذرات ثلاثية التكافؤ مثل البورون والغاليوم والإنديوم
اسم ذرات الشائبة	**Donor atoms** ذرات مانحة	**Acceptor atoms** ذرات مستقبلة
أثر الشائبة	يبقى إلكترون خامس غير مرتبط بأي رابطة	ينقص إلكترون في رابطة فيتكوّن فراغ
الناتج	إلكترون حر	فجوة
الحاملات الأغلبية	الإلكترونات	الفجوات
الحاملات الأقلية	الفجوات	الإلكترونات

خلاصة:
المادة من النوع السالب أو الموجب تظل متعادلة كهربيًا، لأن عدد البروتونات في الأنوية ما زال يساوي عدد الإلكترونات.



تدفّق الإلكترونات والفجوات – Electron versus Hole Flow

If a valence electron acquires sufficient kinetic energy to break its covalent bond, a vacancy, or hole, will be created in the covalent bond that released the electron.

إذا اكتسب إلكترون التكافؤ طاقة تكفي لكسر رابطته، فإنه يتحرّر ويترك مكانه فراغًا اسمه الفجوة.

There is a transfer of holes to the left and electrons to the right. The direction to be used is that of conventional flow, which is indicated by the direction of hole flow.

فتنتقل الفجوات في اتجاه والإلكترونات في الاتجاه المعاكس، والاتجاه الاصطلاحي للتيار هو اتجاه حركة الفجوات.

> **خلاصة:**
> الفجوة ليست جسيمًا حقيقيًا، بل مكان فارغ يتصرّف كشحنة موجبة تتحرّك عكس الإلكترونات.

6) الدايود شبه الموصل – Semiconductor Diode

The semiconductor diode is formed by simply joining an n-type and a p-type material together.

الدايود عبارة عن مادة من النوع السالب ملاصقة لمادة من النوع الموجب.

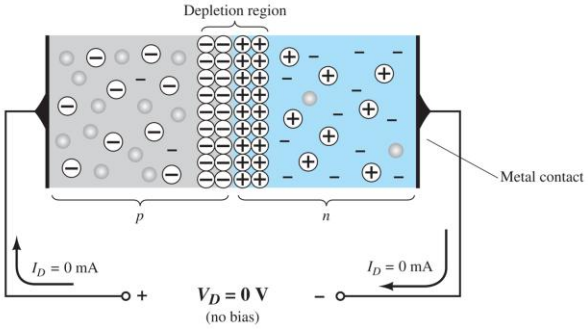
Bias: the application of an external voltage across the two terminals of the device.

الانحياز هو تطبيق جهد خارجي بين طرفي العنصر.

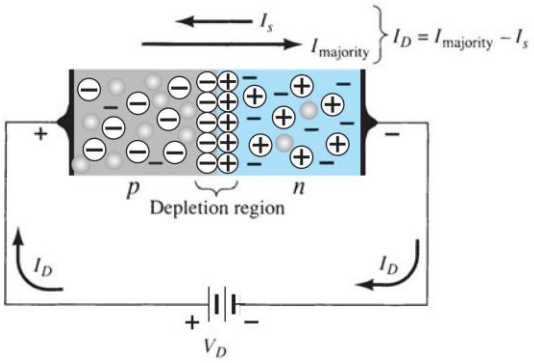
Depletion region: the region of uncovered positive and negative ions due to the depletion of free carriers in the region.

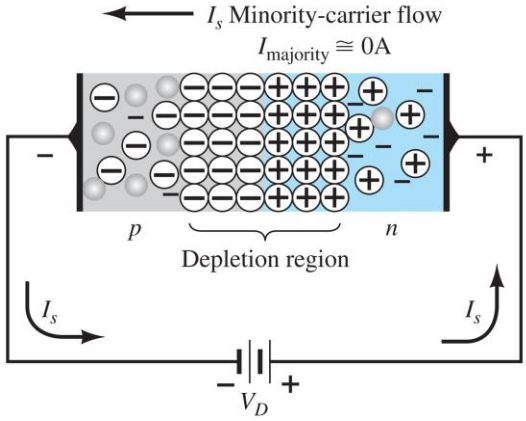
منطقة الاستنزاف هي المنطقة التي فيها أيونات موجبة وسالبة مكشوفة، لأنها خلت تقريبًا من الحاملات الحرة.

عند تلامس المادتين تعبر بعض الإلكترونات من النوع السالب إلى الموجب وتتّحد مع الفجوات قرب منطقة التلامس، فتتكوّن منطقة الاستنزاف.



وجه المقارنة	No bias بدون انحياز	Forward bias انحياز أمامي	Reverse bias انحياز عكسي
التوصيل	الطرفان بدون جهد	الموجب على النوع الموجب	الموجب على النوع السالب
الجهد	صفر	أكبر من الصفر	أقل من الصفر
منطقة الاستنزاف	عرضها الطبيعي	تضيق	تتّسع
التيار	صفر	كبير بالملّي أمبير	تيار تشبّع عكسي صغير جدًا


I_s
$I_{majority}$
$I_D = I_{majority} - I_s$
p
n
Depletion region
I_D
I_D
V_D


I_s Minority-carrier flow
$I_{majority} \cong 0A$
p
n
Depletion region
I_s
I_s
V_D

معادلة شوكلي – Shockley Equation

The general characteristics of a semiconductor diode can be defined by the Shockley equation for the forward- and reverse-bias regions.

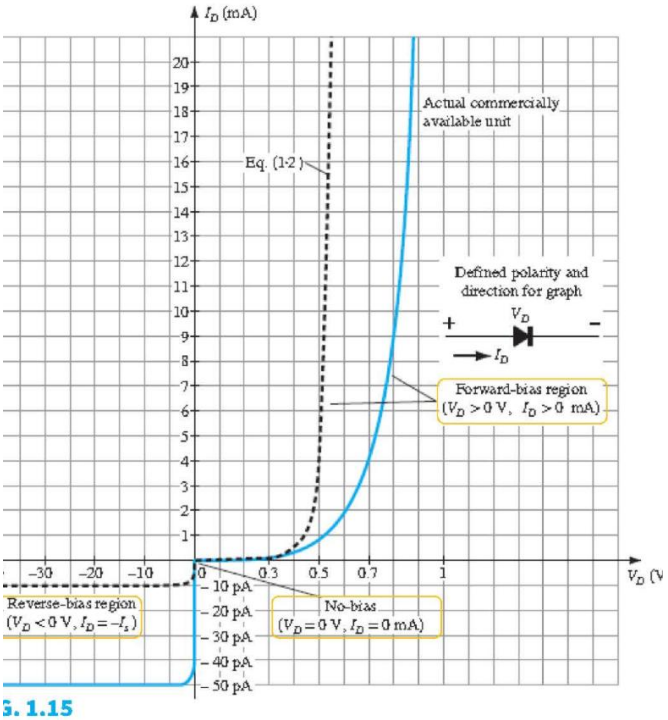
معادلة شوكلي تصف العلاقة بين تيار الدايود وجهده في الانحياز الأمامي والعكسي:

معادلة شوكلي

$$I_D = I_s(e^{V_D/nV_T} - 1)$$

$$V_T = \frac{kT_K}{q}$$

الرمز	المعنى	القيمة
I_s	تيار التشبّع العكسي	قيمة صغيرة جدًا
n	معامل المثالية	واحد إذا لم يُذكر غير ذلك
V_T	الجهد الحراري	حوالي ٢٦ ملّي فولت عند ٢٧ درجة
k	ثابت بولتزمان	1.38×10^{-23} J/K
T_K	درجة الحرارة بالكلفن	$T_K = T_C + 273$
q	شحنة الإلكترون	1.6×10^{-19} C



G. 1.15

Example 1 – الجهد الحراري

At a temperature of 27°C (common temperature for components in an enclosed operating system), determine the thermal voltage V_T.

احسب الجهد الحراري عند ٢٧ درجة مئوية.

Solution – الحل

الخطوة 1: نحوّل درجة الحرارة إلى كلفن.

$$T_K = 27 + 273 = 300\,\text{K}$$

الخطوة 2: نعوّض في قانون الجهد الحراري.

$$V_T = \frac{kT_K}{q} = \frac{\left(1.38 \times 10^{-23}\right)(300)}{1.6 \times 10^{-19}} = 25.875\,\text{mV}$$

الإجابة النهائية

$$V_T \cong 26\,\text{mV}$$

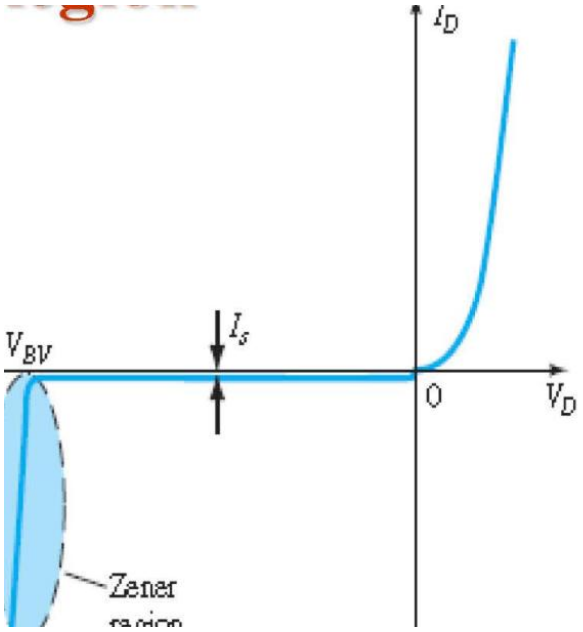
منطقة الانهيار – Breakdown Region

There is a point where the application of too negative a voltage with the reverse polarity will result in a sharp change in the characteristics. The current increases at a very rapid rate in a direction opposite to that of the positive voltage region.

إذا زاد الجهد العكسي بدرجة كبيرة نصل إلى نقطة يتغيّر عندها سلوك الدايود فجأة، فيزيد التيار العكسي بسرعة شديدة.

The reverse-bias potential that results in this dramatic change in characteristics is called the breakdown potential.

وقيمة الجهد العكسي التي يحدث عندها ذلك اسمها جهد الانهيار.



The maximum reverse-bias potential that can be applied before entering the breakdown region is called the peak inverse voltage (PIV rating) or the peak reverse voltage (PRV rating).

وأقصى جهد عكسي يتحمّله الدايود قبل الانهيار اسمه أقصى جهد عكسي، ويُرمز له بالرمزين المتساويين في المعنى.

تأثير درجة الحرارة – Temperature Effects

As temperature increases it adds energy to the diode:

ارتفاع درجة الحرارة يضيف طاقة للدايود، فيحدث الآتي:

١) يقلّ جهد الانحياز الأمامي اللازم للتوصيل، فيتحرّك المنحنى الأمامي إلى اليسار.

٢) يزيد التيار العكسي في الانحياز العكسي، لأن عدد الحاملات الحرة يزيد.

٣) يزيد جهد الانهيار الانهياري، أي يحتاج الدايود جهدًا عكسيًا أكبر لينهار.

٤) دايودات الجرمانيوم أكثر حساسية لتغيّر الحرارة من السيليكون وزرنيخيد الغاليوم.

مقارنة بين الجرمانيوم والسيليكون وزرنيخيد الغاليوم – Diode Characteristics Ge Si and GaAs

وجه المقارنة	Ge	Si	GaAs
Knee voltage جهد الركبة	**0.3 V**	**0.7 V**	**1.2 V**
Reverse saturation current تيار التشبّع العكسي	**1 µA**	**10 pA**	**1 pA**
Breakdown voltage جهد الانهيار	الأقل	متوسط	الأعلى بحوالي عشرة في المئة
Electron mobility حركية الإلكترونات	**3900**	**1500**	**8500**

خلاصة:

الجرمانيوم يعمل عند أقل جهد أمامي لكن تيار تسريبه الأكبر، ولذلك هو الأسوأ في الخصائص.

السيليكون متوسط في جهد التشغيل وتيار تسريبه صغير، ولذلك هو الأكثر استخدامًا.

زرنيخيد الغاليوم يحتاج جهدًا أعلى، لكنه الأسرع والأقل تسريبًا.

7) الدايود المثالي والعملي – Ideal Versus Practical

وجه المقارنة	Ideal diode الدايود المثالي	Practical diode الدايود العملي
الانحياز الأمامي	مفتاح مغلق عند أي جهد أمامي	يوصّل بعد تجاوز جهد الركبة
المقاومة الأمامية	صفر	صغيرة جدًا
الانحياز العكسي	مفتاح مفتوح تمامًا	مفتوح تقريبًا مع تيار تسريب صغير
المقاومة العكسية	لا نهائية	كبيرة جدًا
التيار العكسي	صفر	صغير جدًا لكنه موجود

8) مستويات المقاومة – Resistance Levels

As the operating point of a diode moves from one region to another the resistance of the diode will also change because of the nonlinear shape of the characteristic curve.

مقاومة الدايود ليست ثابتة، لأن منحناه غير خطي، فتتغيّر المقاومة كلما تحرّكت نقطة التشغيل. وتُعرّف ثلاثة أنواع:

وجه المقارنة	DC (static) المقاومة الساكنة	AC (dynamic) المقاومة الديناميكية	Average AC متوسط المقاومة
التعريف	عند نقطة واحدة على المنحنى	ميل المماس عند نقطة التشغيل	ميل الخط بين نقطتين
الإشارة	جهد مستمر ثابت	إشارة متردّدة صغيرة	إشارة كبيرة بين حدّين
الملاحظة	تقلّ كلما زاد التيار	الأدق لوصف السلوك	تقريب للتغيّرات الكبيرة

المقاومة الساكنة – DC Static Resistance

المقاومة الساكنة

$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$

Example 2 – المقاومة الساكنة عند ثلاث نقاط

Determine the dc resistance levels for the diode of Fig. 1.24 at (a) $I_D = 2\,\text{mA}$ (low level), (b) $I_D = 20\,\text{mA}$ (high level), (c) $V_D = -10\,\text{V}$ (reverse-biased).

احسب المقاومة الساكنة للدايود عند ثلاث نقاط تشغيل.

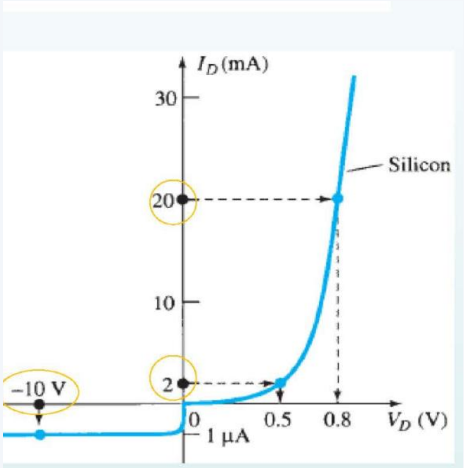


FIG. 1.24
Example 1.3 .

Solution – الحل

الخطوة 1: عند ٢ ملّي أمبير نقرأ من المنحنى ٠٫٥ فولت.

$$R_D = \frac{0.5\,\text{V}}{2\,\text{mA}} = 250\,\Omega$$

الخطوة 2: عند ٢٠ ملّي أمبير نقرأ ٠٫٨ فولت.

$$R_D = \frac{0.8\,\text{V}}{20\,\text{mA}} = 40\,\Omega$$

الخطوة 3: في الانحياز العكسي يمر تيار التشبّع العكسي فقط.

$$R_D = \frac{10\,\text{V}}{1\,\mu\text{A}} = 10\,\text{M}\Omega$$

الإجابة النهائية

$250\,\Omega, \quad 40\,\Omega, \quad 10\,\text{M}\Omega$

لاحظ أن المقاومة الساكنة تقلّ كلما زاد التيار، وتكون كبيرة جدًا في الانحياز العكسي.

AC Dynamic Resistance – المقاومة الديناميكية

If a sinusoidal rather than a dc input is applied, the varying input will move the instantaneous operating point up and down a region of the characteristics.

عند تطبيق إشارة متردّدة تتحرّك نقطة التشغيل حول نقطة السكون، فنحسب المقاومة من ميل المماس عندها:

المقاومة الديناميكية

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{26\,\text{mV}}{I_D}$$

وفي الانحياز العكسي تكون المقاومة الديناميكية لا نهائية عمليًا. وعند إضافة مقاومة جسم الدايود تصبح:

$$r'_d = \frac{26\,\text{mV}}{I_D} + r_B$$

Example 3 – المقاومة الديناميكية بالرسم

For the characteristics of Fig. 1.27: (a) Determine the ac resistance at $I_D = 2\,\text{mA}$. (b) Determine the ac resistance at $I_D = 25\,\text{mA}$. (c) Compare the results of parts (a) and (b) to the dc resistances at each current level.

احسب المقاومة الديناميكية عند تيارين وقارنها بالمقاومة الساكنة.

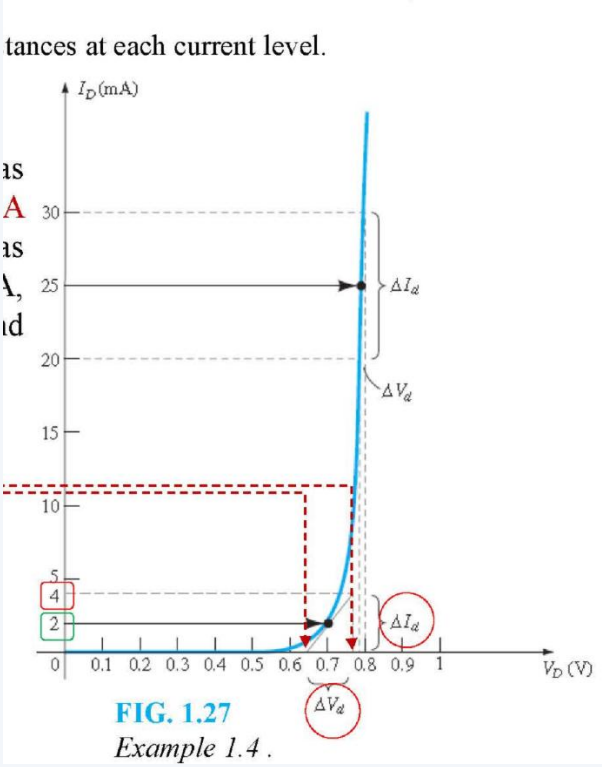


FIG. 1.27
Example 1.4 .

الحل – Solution

الخطوة 1: عند ٢ ملّي أمبير نرسم مماسًا ونأخذ تأرجحًا متساويًا حول النقطة.

$$\Delta I_d = 4\,\text{mA} - 0\,\text{mA} = 4\,\text{mA}, \qquad \Delta V_d = 0.76\,\text{V} - 0.65\,\text{V} = 0.11\,\text{V}$$

$$r_d = \frac{0.11\,\text{V}}{4\,\text{mA}} = 27.5\,\Omega$$

الخطوة 2: عند ٢٥ ملّي أمبير.

$$\Delta I_d = 30\,\text{mA} - 20\,\text{mA} = 10\,\text{mA}, \qquad \Delta V_d = 0.8\,\text{V} - 0.78\,\text{V} = 0.02\,\text{V}$$

$$r_d = \frac{0.02\,\text{V}}{10\,\text{mA}} = 2\,\Omega$$

الخطوة 3: المقاومة الساكنة عند نفس التيارين للمقارنة.

$$R_D = \frac{0.7\,\text{V}}{2\,\text{mA}} = 350\,\Omega, \qquad R_D = \frac{0.79\,\text{V}}{25\,\text{mA}} = 31.62\,\Omega$$

الإجابة النهائية

$$r_d = 27.5\,\Omega,\ 2\,\Omega \qquad R_D = 350\,\Omega,\ 31.62\,\Omega$$

المقاومة الساكنة أكبر بكثير من المقاومة الديناميكية عند نفس التيار.

متوسط المقاومة المتردّدة – Average AC Resistance

متوسط المقاومة

$$r_{av} = \left.\frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}\right|_{\text{pt. to pt.}}$$

مثال توضيحي من الكتاب: بين ٢ و١٧ ملّي أمبير يتغيّر الجهد من ٠٫٦٥ إلى ٠٫٧٢٥ فولت:

$$r_{av} = \frac{0.725 - 0.65}{17\ \text{mA} - 2\ \text{mA}} = \frac{0.075\ \text{V}}{15\ \text{mA}} = 5\ \Omega$$

9) الدوائر المكافئة للدايود – Diode Equivalent Circuits

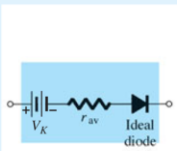
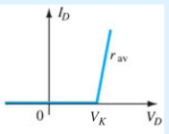
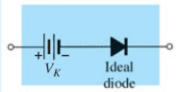
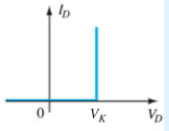
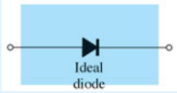
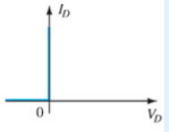
An equivalent circuit is a combination of elements properly chosen to best represent the actual terminal characteristics of a device or system in a particular operating region.

الدائرة المكافئة مجموعة عناصر مختارة لتمثّل سلوك العنصر الفعلي في منطقة تشغيل معيّنة.

النموذج	المكوّنات	متى يُستخدم
Piecewise-linear الخطي المجزّأ	دايود مثالي مع جهد الركبة ومقاومة متوسطة	عندما تكون المقاومة غير مهملة
Simplified المبسّط	دايود مثالي مع جهد الركبة فقط	الأكثر استخدامًا في التحليل
Ideal المثالي	دايود مثالي فقط	عندما تكون الجهود أكبر بكثير من جهد الركبة

TABLE 1.7

Diode Equivalent Circuits (Models)

Type	Conditions	Model	Characteristics
Piecewise-linear model			
Simplified model	$R_{network} \gg r_{av}$		
Ideal device	$R_{network} \gg r_{av}$ $E_{network} \gg V_K$		

10) سعة الانتقال وسعة الانتشار – Transition and Diffusion Capacitance

Every electronic or electrical device is frequency sensitive. At high frequencies, stray capacitive effects become important.

كل عنصر يتأثّر بالتردّد، وعند الترددات العالية تظهر سعات داخلية لا يمكن إهمالها.

سعة الانتقال – Transition Capacitance

Recall that the capacitance of a parallel-plate capacitor is defined by:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

حيث البسط فيه سماحية المادة العازلة ومساحة اللوح، والمقام هو المسافة بين اللوحين.

In the reverse-bias region, the depletion region behaves essentially like an insulator between the layers of opposite charge. Since the depletion width d will increase with increased reverse-bias potential, the resulting transition capacitance will decrease.

في الانحياز العكسي تعمل منطقة الاستنزاف كعازل بين لوحين، وكلما زاد الجهد العكسي اتّسعت المنطقة فقلّت السعة.

سعة الانتقال

$$C_T = \frac{C(0)}{(1 + |V_R/V_K|)^n}$$

حيث سعة الصفر هي السعة بدون انحياز، والأُس يساوي النصف أو الثلث حسب نوع الوصلة.

سعة الانتشار – Diffusion Capacitance

In the forward-bias region the diffusion capacitance is the dominant effect. It is dependent on the rate at which charge is injected into the regions just outside the depletion region.

في الانحياز الأمامي تكون سعة الانتشار هي الأكبر، وتعتمد على معدل حقن الشحنات خارج منطقة الاستنزاف.

Increased levels of current result in increased levels of diffusion capacitance, so it is directly proportional to the diode current.

فكلما زاد تيار الدايود زادت سعة الانتشار، أي أنها تتناسب طرديًا مع التيار.

وجه المقارنة	Transition سعة الانتقال	Diffusion سعة الانتشار
منطقة السيطرة	الانحياز العكسي	الانحياز الأمامي
تعتمد على	عرض منطقة الاستنزاف	تيار الدايود
عند زيادة الجهد	تقلّ	تزيد مع زيادة التيار

خلاصة:

عند الترددات العالية تمرّر السعة الإشارة في الانحياز العكسي، فتضعف خاصية التوحيد في الدايود.

11) زمن الاستعادة العكسية – Reverse Recovery Time

In the forward-bias state there are a large number of electrons from the n-type material progressing through the p-type material and a large number of holes in the n-type material.

في الانحياز الأمامي توجد أعداد كبيرة من الحاملات الأقلية مخزّنة على جانبي الوصلة.

When the applied voltage is reversed, the diode does not switch off instantly: it conducts in the reverse direction until the minority carriers return to their majority state.

فعند عكس الجهد لا يتوقّف الدايود فورًا، بل يمرّ تيار عكسي حتى تعود هذه الحاملات إلى مكانها.

The reverse recovery time is the sum of the storage time and the transition interval: the time required for the diode to switch from the on to the off state.

زمن الاستعادة العكسية هو الزمن اللازم لينتقل الدايود من التوصيل إلى القطع، وهو مجموع زمن التخزين وزمن الانتقال.

زمن الاستعادة العكسية

$$t_{rr} = t_s + t_t$$

وفي الدايودات التجارية يتراوح هذا الزمن من بضعة نانو ثانية إلى حوالي ميكرو ثانية، وهو مهم في تطبيقات الفتح والغلق السريع.

12) مواصفات الدايود – Diode Specification Sheets

Data about a diode is presented uniformly for many different diodes. This makes cross-matching of diodes for replacement or design easier.

بيانات الدايودات تُعرض بشكل موحّد، فيسهل مقارنتها واختيار بديل مناسب. وأهم البيانات:

١) الجهد الأمامي عند تيار ودرجة حرارة محدّدين.

٢) أقصى تيار أمامي عند درجة حرارة محدّدة.

٣) تيار التشبّع العكسي عند جهد ودرجة حرارة محدّدين.

٤) أقصى جهد عكسي، ويُكتب بأحد الرموز الثلاثة، والأخير منها يعني جهد الانهيار.

Reverse-voltage rating: PIV or PRV or V(BR).

٥) أقصى قدرة مستهلكة عند درجة حرارة محدّدة.

٦) مستويات السعة، سواء سعة الانتقال أو الانتشار.

٧) زمن الاستعادة العكسية.

٨) مدى درجة حرارة التشغيل.

The anode is abbreviated A and the cathode is abbreviated K.

طرف الدايود الموجب اسمه الأنود، والسالب اسمه الكاثود، والتيار الاصطلاحي يمرّ من الأنود إلى الكاثود.

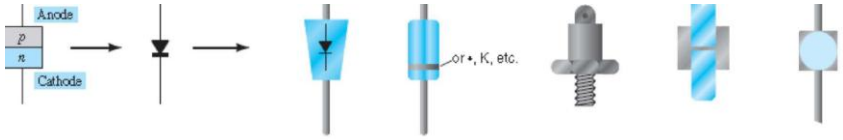


FIG. 1.38
Semiconductor diode notation.

طرق اختبار الدايود – Diode Testing

The condition of a semiconductor diode can be determined quickly using a digital meter with a diode checking function, the ohmmeter section of a multimeter, or a curve tracer.

نختبر الدايود بثلاث طرق:

الطريقة	النتيجة للدايود السليم
Diode checker خاصية فحص الدايود	في الاتجاه الأمامي يظهر جهد الركبة تقريبًا (السيليكون حوالي ٠٫٧ فولت)، وفي العكسي تظهر علامة الدائرة المفتوحة
Ohmmeter الأوميتر	مقاومة صغيرة نسبيًا في الاتجاه الأمامي ومقاومة كبيرة في العكسي
Curve tracer راسم المنحنيات	يعرض منحنى الدايود كاملًا لمقارنته بالداتا شيت

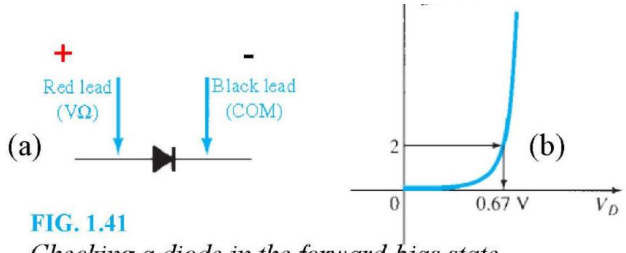


FIG. 1.41
Checking a diode in the forward-bias state.

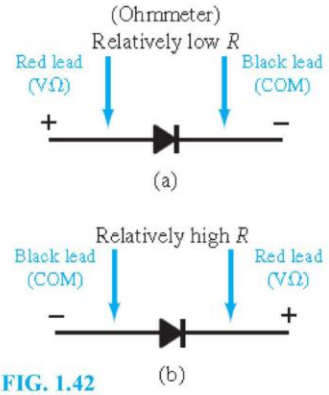


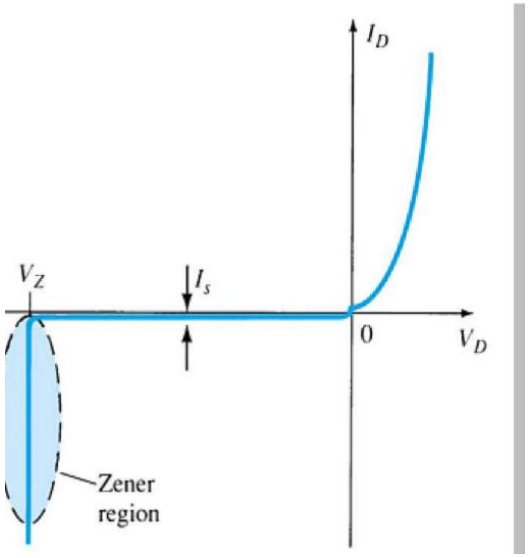
FIG. 1.42
Checking a diode with an ohmmeter.

خلاصة:
إذا أعطى الأوميتر مقاومة صغيرة في الاتجاهين فالدايود مقصور، وإذا أعطى مقاومة كبيرة في الاتجاهين فهو مفتوح.

14) دايود الزينر – Zener Diodes

A Zener diode is a diode operated in reverse bias at the Zener voltage. The characteristic drops in an almost vertical manner at a reverse-bias potential.

دايود الزينر دايود مصمّم ليعمل في الانحياز العكسي عند جهد الزينر، حيث يكون منحناه رأسيًا تقريبًا.



Common Zener voltages are between 1.8 V and 200 V. The conduction direction of the Zener is opposite to that of the conventional diode.

جهود الزينر الشائعة بين ١,٨ و٢٠٠ فولت، واتجاه التيار فيه عكس اتجاه الدايود العادي.

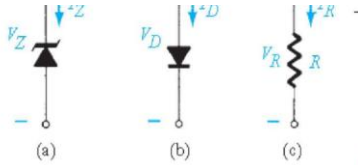


FIG. 1.46
Conduction direction:
(a) Zener diode;
(b) semiconductor diode;
(c) resistive element.

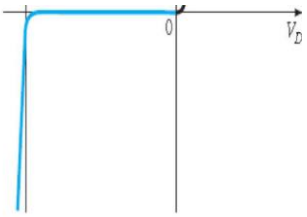


FIG. 1.45
Reviewing the Zener region.

معامل الحرارة – Temperature Coefficient

The Zener potential of a Zener diode is very sensitive to the temperature of operation. The temperature coefficient can be used to find the change in Zener potential due to a change in temperature:

جهد الزينر يتأثّر بدرجة الحرارة، ونحسب التغيّر من معامل الحرارة:

معامل الحرارة

$$T_C = \frac{\Delta V_Z / V_Z}{T_1 - T_0} \times 100\% \quad (\%/^\circ\text{C})$$

حيث الحرارة الجديدة والحرارة المرجعية ٢٥ درجة، وجهد الزينر الاسمي عند ٢٥ درجة.

ويكون المعامل موجبًا للزينر الأكبر من حوالي خمسة فولت، وسالبًا للأصغر منها.

Example 4 – تأثير الحرارة على جهد الزينر

Analyze the 10-V Zener diode described by Table 1.8 if the temperature is increased to 100°C (the boiling point of water). The temperature coefficient is +0.072%/°C.

احسب جهد الزينر الجديد عند ١٠٠ درجة.

Solution – الحل

الخطوة 1: من قانون معامل الحرارة نحسب التغيّر في الجهد.

$$\Delta V_Z = \frac{T_C V_Z}{100\%}(T_1 - T_0) = \frac{(0.072)(10\,\text{V})}{100}(100 - 25) = 0.54\,\text{V}$$

الخطوة 2: المعامل موجب، فيزيد الجهد.

$$V'_Z = V_Z + 0.54\,\text{V} = 10.54\,\text{V}$$

الإجابة النهائية

$$V'_Z = 10.54\,\text{V}$$

وهو تغيّر ملحوظ لا يمكن إهماله.

15) الدايود الباعث للضوء – Light-Emitting Diodes

An LED emits photons when it is forward biased. These can be in the infrared or visible spectrum. The forward bias voltage is usually in the range of 2 V to 3 V.

الدايود الباعث للضوء يُطلق فوتونات عند انحيازه أماميًا، في نطاق الأشعة تحت الحمراء أو الضوء المرئي، وجهده الأمامي عادة من ٢ إلى ٣ فولت.

The recombination of the injected carriers due to the forward-biased junction results in emitted light at the site of the recombination. This process is called electroluminescence.

عندما تتّحد الإلكترونات مع الفجوات عند الوصلة تخرج طاقة في صورة ضوء، وهذه العملية اسمها الإضاءة الكهربية.

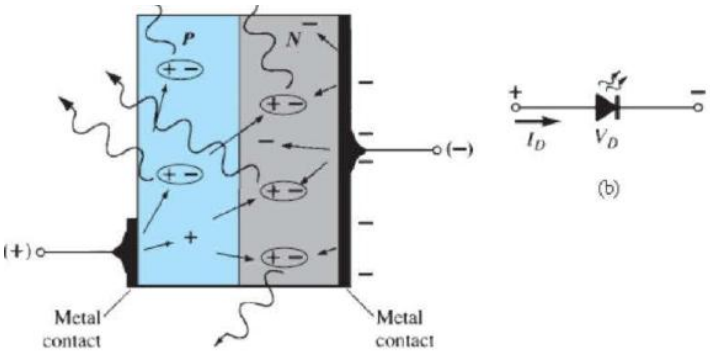


FIG. 1.50
(a) Process of electroluminescence in the LED; (b) graphic symbol.

الطول الموجي

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda_g = \frac{hc}{E_g} = \frac{1240}{E_g\,(\text{eV})}\ \text{nm}$$

حيث سرعة الضوء ٣ × ١٠ أُس ٨ متر لكل ثانية، وثابت بلانك ٦٫٦٢٦ × ١٠ أُس سالب ٣٤ جول ثانية.

Example 5 – مدى الأطوال الموجية للضوء المرئي

Using $c = f\lambda$, find the range of wavelength in nm for the frequency range of visible light (400 THz–750 THz).

احسب مدى الطول الموجي للضوء المرئي.

Solution – الحل

الخطوة 1: عند التردد الأصغر.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8\ \text{m/s}}{400 \times 10^{12}\ \text{Hz}} = 0.75\ \mu\text{m} = 750\ \text{nm}$$

الخطوة 2: عند التردد الأكبر.

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8\ \text{m/s}}{750 \times 10^{12}\ \text{Hz}} = 0.4\ \mu\text{m} = 400\ \text{nm}$$

الإجابة النهائية

$400\ \text{nm} \rightarrow 750\ \text{nm}$

16) ملخّص القوانين – Formula Summary

	القانون – Formula
Energy الطاقة	$$W = QV$$ $$1\,\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}$$
Shockley equation معادلة شوكلي	$$I_D = I_s\left(e^{V_D/nV_T} - 1\right)$$ $$V_T = \frac{kT_K}{q}$$
Resistance levels مستويات المقاومة	$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$ $$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{26\,\text{mV}}{I_D}$$ $$r_{av} = \left.\frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}\right\vert_{\text{pt. to pt.}}$$
Transition capacitance سعة الانتقال	$$C_T = \frac{C(0)}{(1 + \lvert V_R/V_K\rvert)^n}$$
Reverse recovery time زمن الاستعادة	$$t_{rr} = t_s + t_t$$
Zener temperature coefficient معامل حرارة الزينر	$$T_C = \frac{\Delta V_Z/V_Z}{T_1 - T_0} \times 100\%$$

	القانون – Formula
LED wavelength الطول الموجي	$$\lambda = \frac{c}{f}$$ $$\lambda_g = \frac{1240}{E_g\,(\text{eV})}\ \text{nm}$$