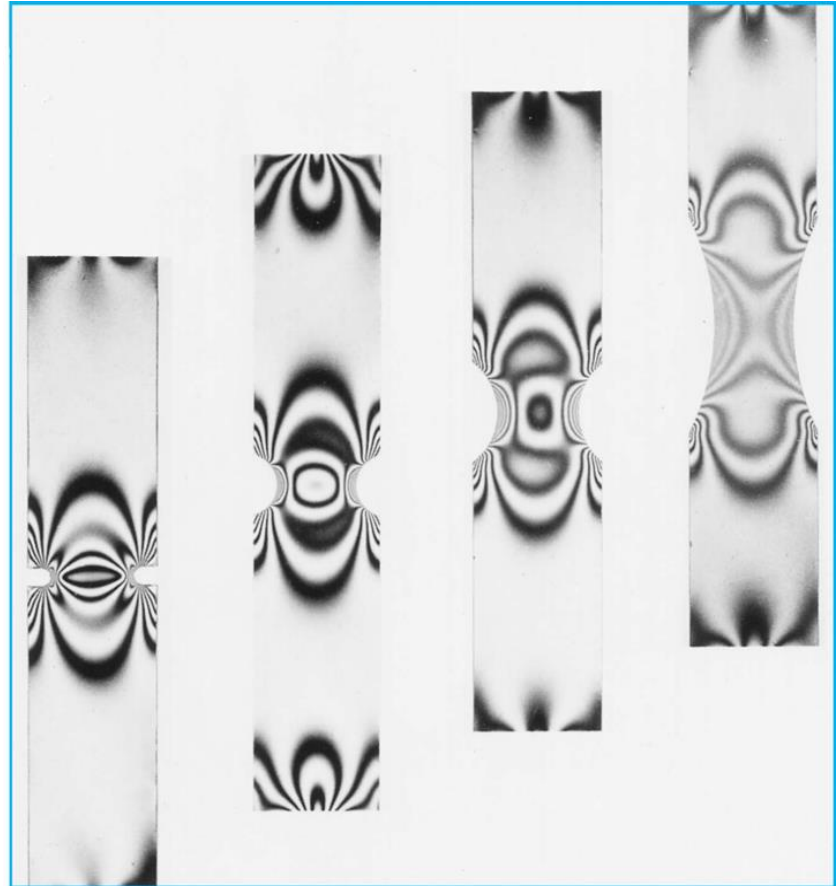
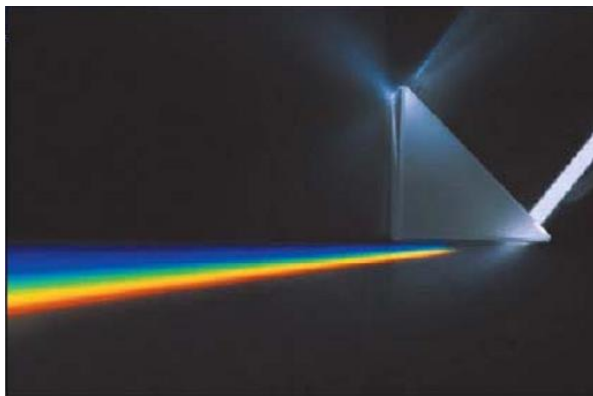


คุณสมบัติทางแสง (Optical Properties)



ISSUES TO ADDRESS...

- **What happens when light shines on a material?**
- **Why do materials have characteristic colors?**
- **Why are some materials transparent and other not?**
- **Optical applications:**
 - luminescence**
 - photoconductivity**
 - solar cell**
 - optical communications fibers**

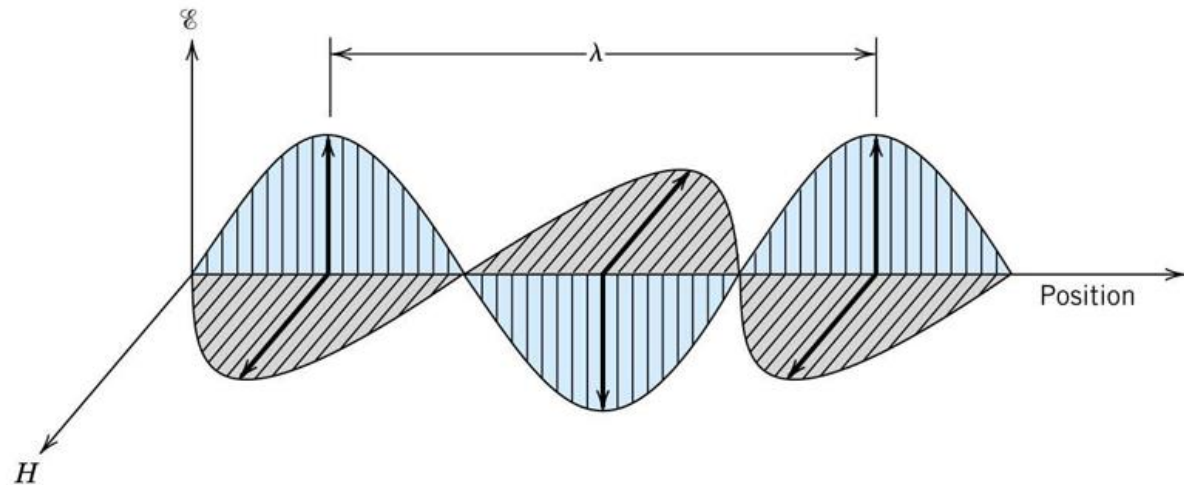
Introduction

- ▶ **คุณสมบัติทางแสง (optical property)** หมายถึงการตอบสนองการรับต่อการแผ่รังสีของแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น แสงที่สามารถมองเห็นได้ ในบทนี้จะอธิบายถึงความรู้พื้นฐานซึ่งสัมพันธ์กับการแผ่รังสีของแม่เหล็กไฟฟ้า และสิ่งที่เกิดขึ้นภายในวัสดุแข็ง จากนั้นก็จะกล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆ เช่น **การดูดซับแสง (absorption) การสะท้อนของแสง (reflection) และคุณสมบัติในการส่องผ่าน (transmission characteristics)** ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงคุณสมบัติทางด้านการเปล่งแสง (luminescence) photoconductivity และการขยายสัญญาณ เป็นต้น

Basic Concept

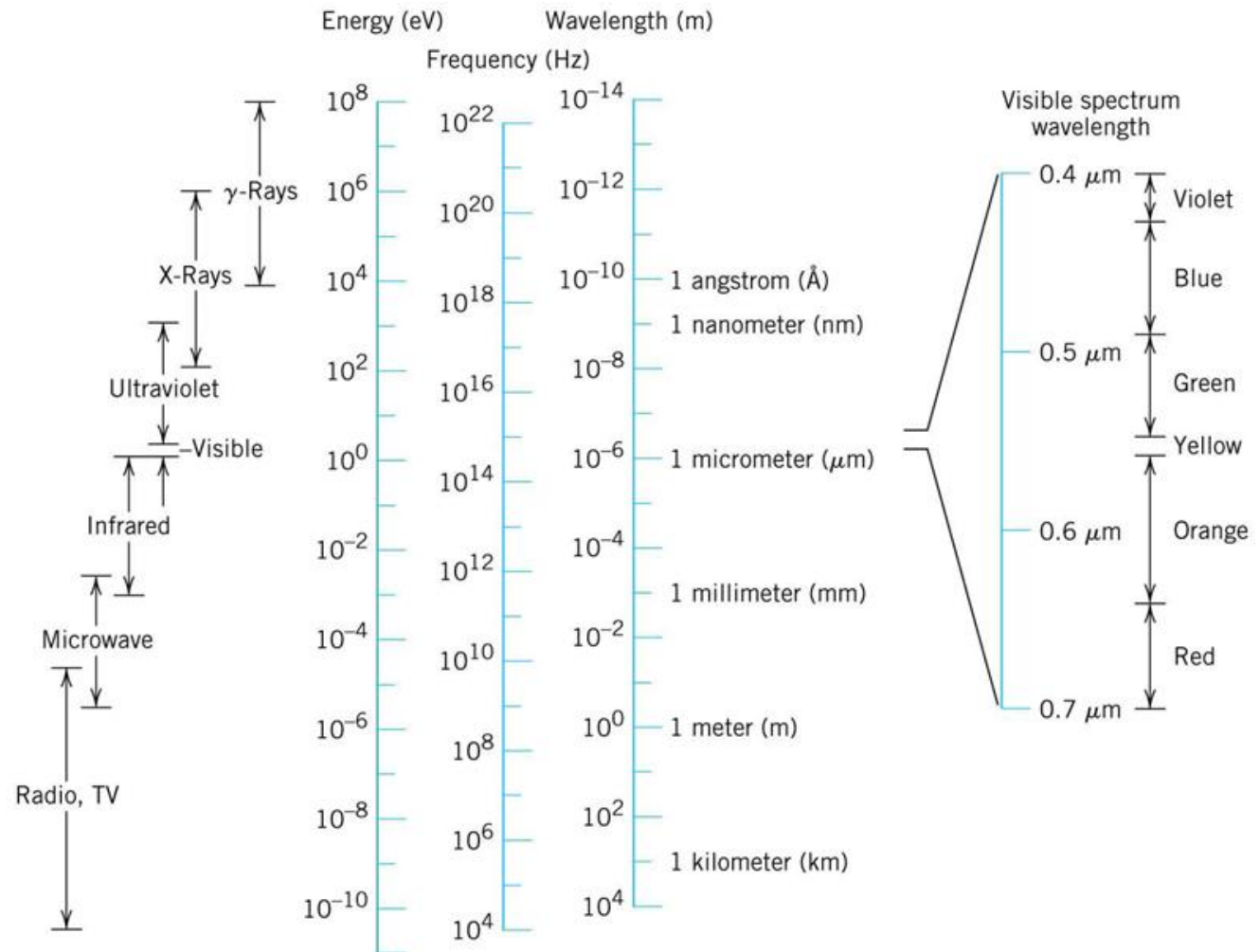
► การแผ่รังสีของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation)

FIGURE 21.1 An electromagnetic wave showing electric field $\mathcal{E}$ and magnetic field H components, and the wavelength λ .

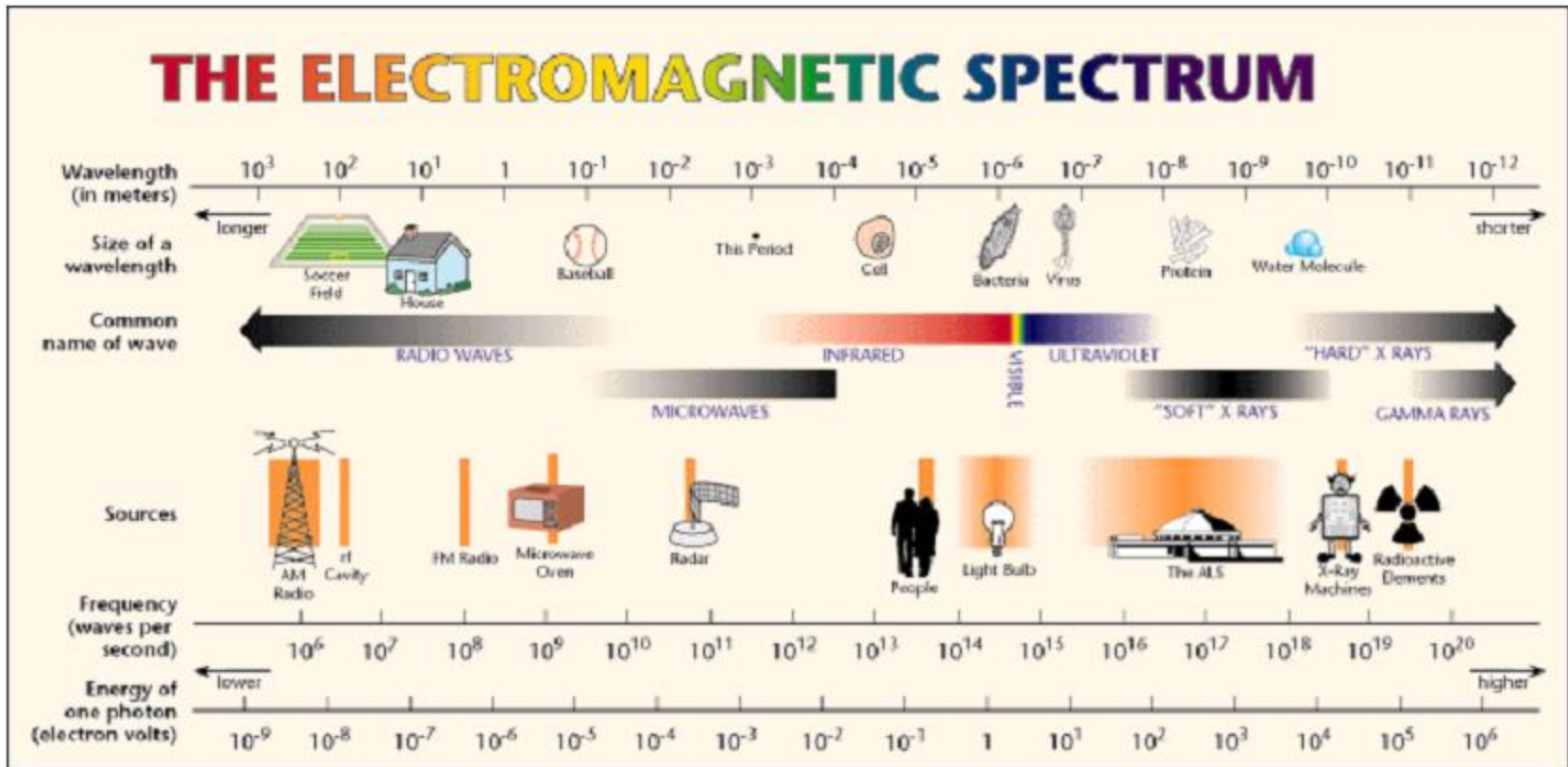


Spectrum of Electromagnetic

FIGURE 21.2 The spectrum of electromagnetic radiation, including wavelength ranges for the various colors in the visible spectrum.



Spectrum of Electromagnetic



Light Interactions with Solids

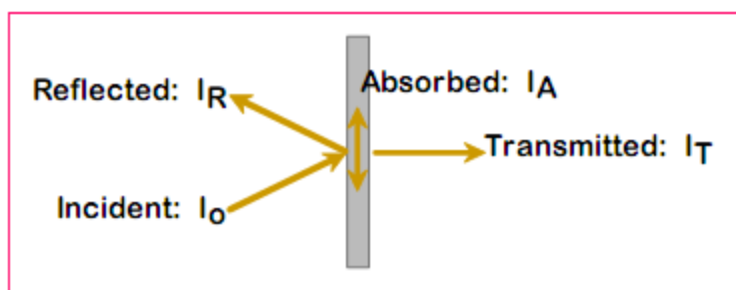
$$I_O = I_T + I_A + I_R$$

I_O : ความเข้มแสงที่ตกกระทบ

I_T : ความเข้มของแสงที่ส่องผ่าน (Transmission)

I_A : ความเข้มของแสงที่ถูกดูดซับ (Absorption)

I_R : ความเข้มของแสงที่สะท้อนออก (Reflection)



$$I_0 = I_T + I_A + I_R$$

$$\frac{I_T}{I_0} + \frac{I_A}{I_0} + \frac{I_R}{I_0} = T + A + R = 1$$

พิจารณาจากสมการ

สภาพส่องผ่าน $T = \text{transmittivity} = \frac{I_T}{I_0}$

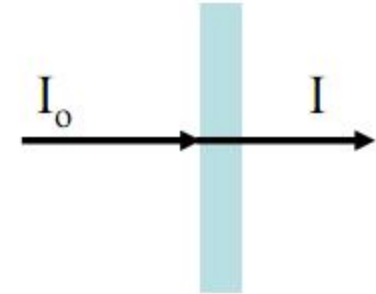
สภาพดูดกลืน $A = \text{absorptivity} = \frac{I_A}{I_0}$

สภาพสะท้อน $R = \text{reflectivity} = \frac{I_R}{I_0}$

- วัตถุที่ยอมให้แสงผ่านได้มาก และมีการดูดกลืนและสะท้อนแสงน้อย เรียกว่า วัตถุโปร่งใส (transparent)
- วัตถุที่ยอมให้แสงผ่านได้และแสงมีการกระจายตัวภายในเนื้อวัตถุ เรียกว่า วัตถุโปร่งแสง (translucent)
- วัตถุที่ไม่ยอมให้แสงผ่าน และสามารถดูดกลืนหรือสะท้อนแสงได้ดี เรียกว่า วัตถุทึบแสง (opaque)

โปร่งใส (Transparent)

- ✓ สามารถมองเห็นทะลุผ่านได้ และแสงสามารถผ่านได้ทั้งหมด
- ✓ เกิดการเลี้ยวเบนและหักเหของแสงน้อยมากภายในเนื้อวัสดุ



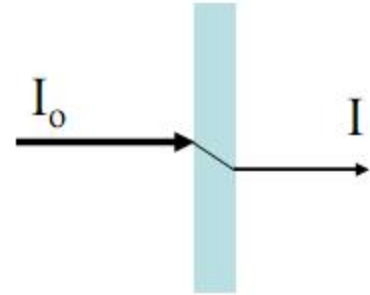
Examples of Transparent Materials

- Clear glass
- Clean water
- Clear plastic



โปร่งแสง (Translucent)

- ✓ แสงสามารถผ่านได้เพียงบางส่วน
- ✓ เกิดการหักเห และกระเจิงแสงภายในเนื้อวัสดุมาก ทำให้ไม่สามารถมองเห็นวัตถุผ่านได้ชัด



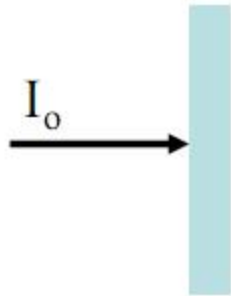
Examples of Translucent Materials

- Frosted glass
- Thin fabrics
- Thin paper



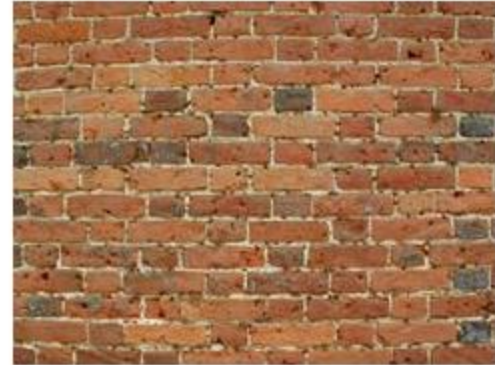
ทึบแสง (Opaque)

แสงไม่สามารถผ่านได้เลย



Examples of Opaque Materials

- Thick paper
- Aluminum Foil
- Brick
- Wood
- Metal
- Stones



OPTICAL PROPERTIES OF METALS: ABSORPTION

- **Absorption** of photons by electron transition:

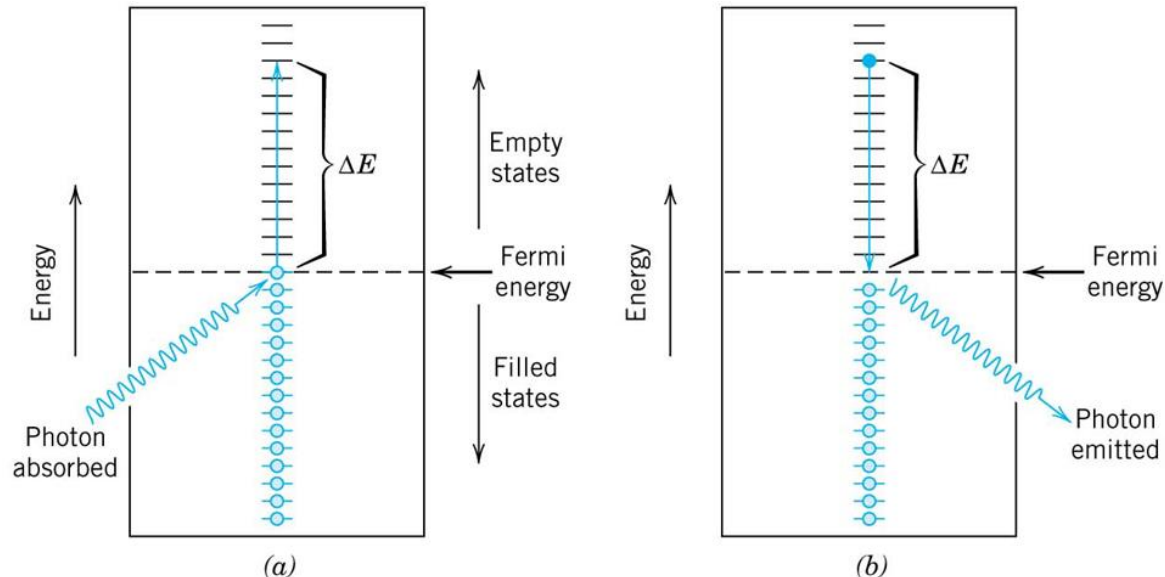
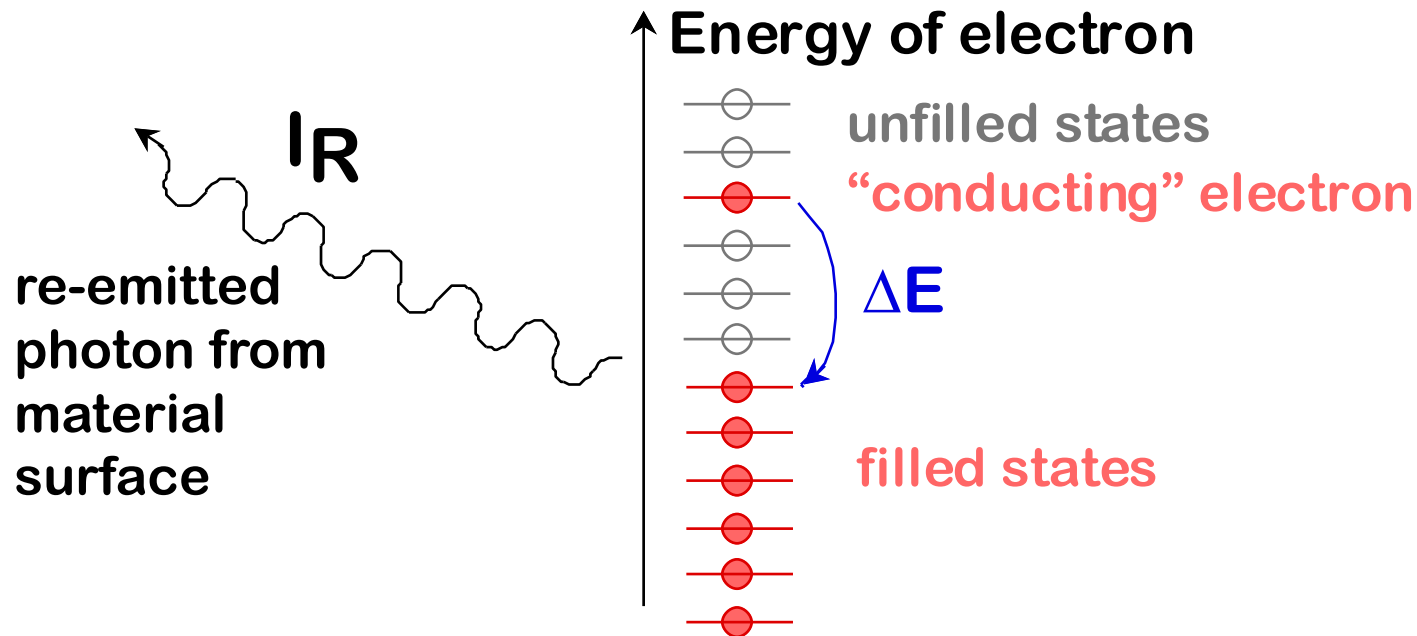


FIGURE 21.4 (a) Schematic representation of the mechanism of photon absorption for metallic materials in which an electron is excited into a higher-energy unoccupied state. The change in energy of the electron ΔE is equal to the energy of the photon. (b) Reemission of a photon of light by the direct transition of an electron from a high to a low energy state.

- **Metals have a fine succession of energy states.**
- **Near-surface electrons absorb visible light.**

OPTICAL PROPERTIES OF METALS: REFLECTION

- Electron transition emits a photon.



- Reflectivity = I_R/I_0 is between 0.90 and 0.95.
- Reflected light is same frequency as incident.
- Metals appear reflective

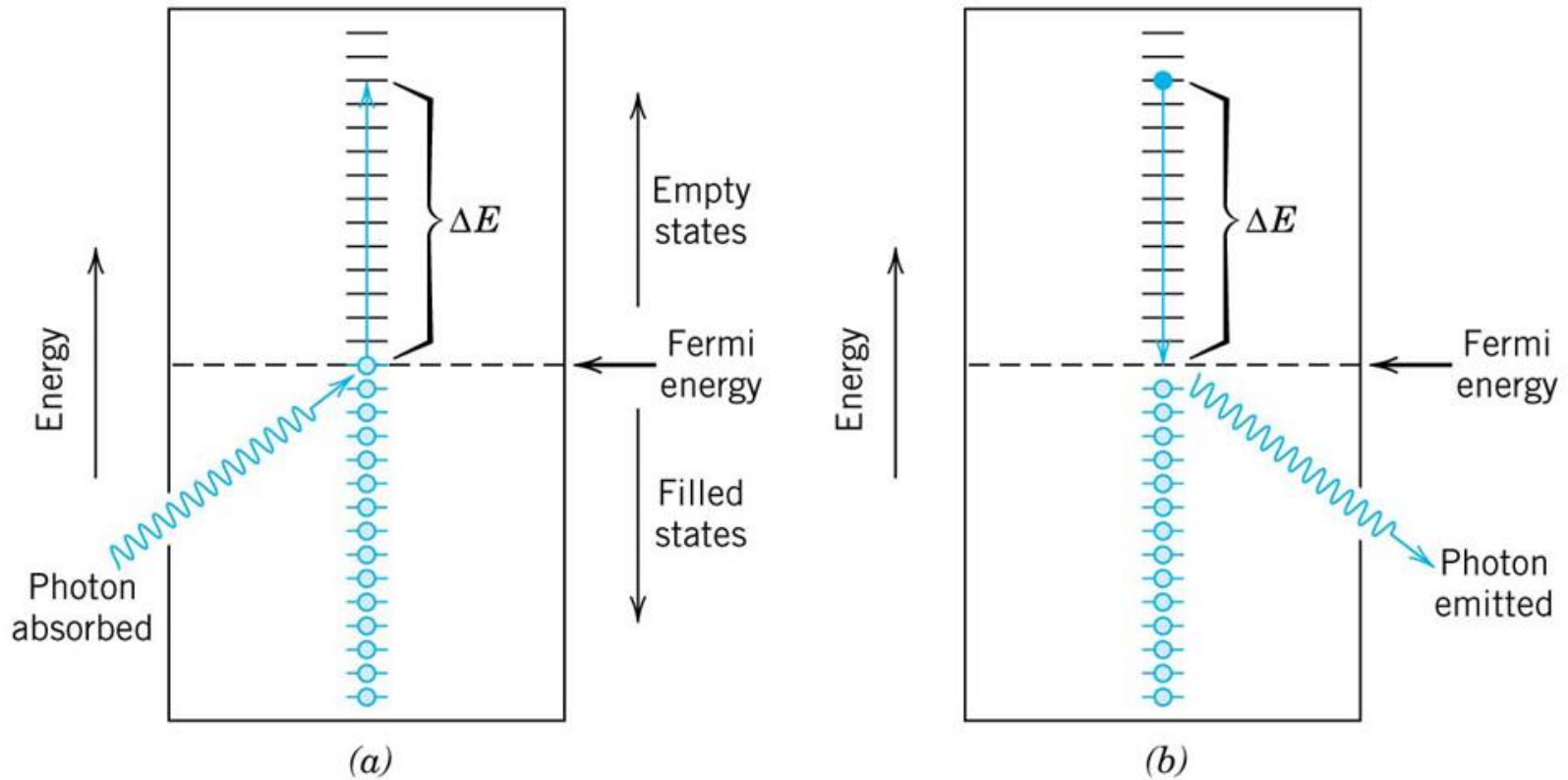


FIGURE 21.4 (a) Schematic representation of the mechanism of photon absorption for metallic materials in which an electron is excited into a higher-energy unoccupied state. The change in energy of the electron ΔE is equal to the energy of the photon. (b) Reemission of a photon of light by the direct transition of an electron from a high to a low energy state.

Transmission



FIGURE 21.7 The transmission of light through a transparent medium for which there is reflection at front and back faces, as well as absorption within the medium.

(Adapted from R. M. Rose, L. A. Shepard, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. 4, *Electronic Properties*.

Copyright © 1966 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

R : Reflectance = I_R/I_0

β : absorption coefficient

l : Specimen of thickness

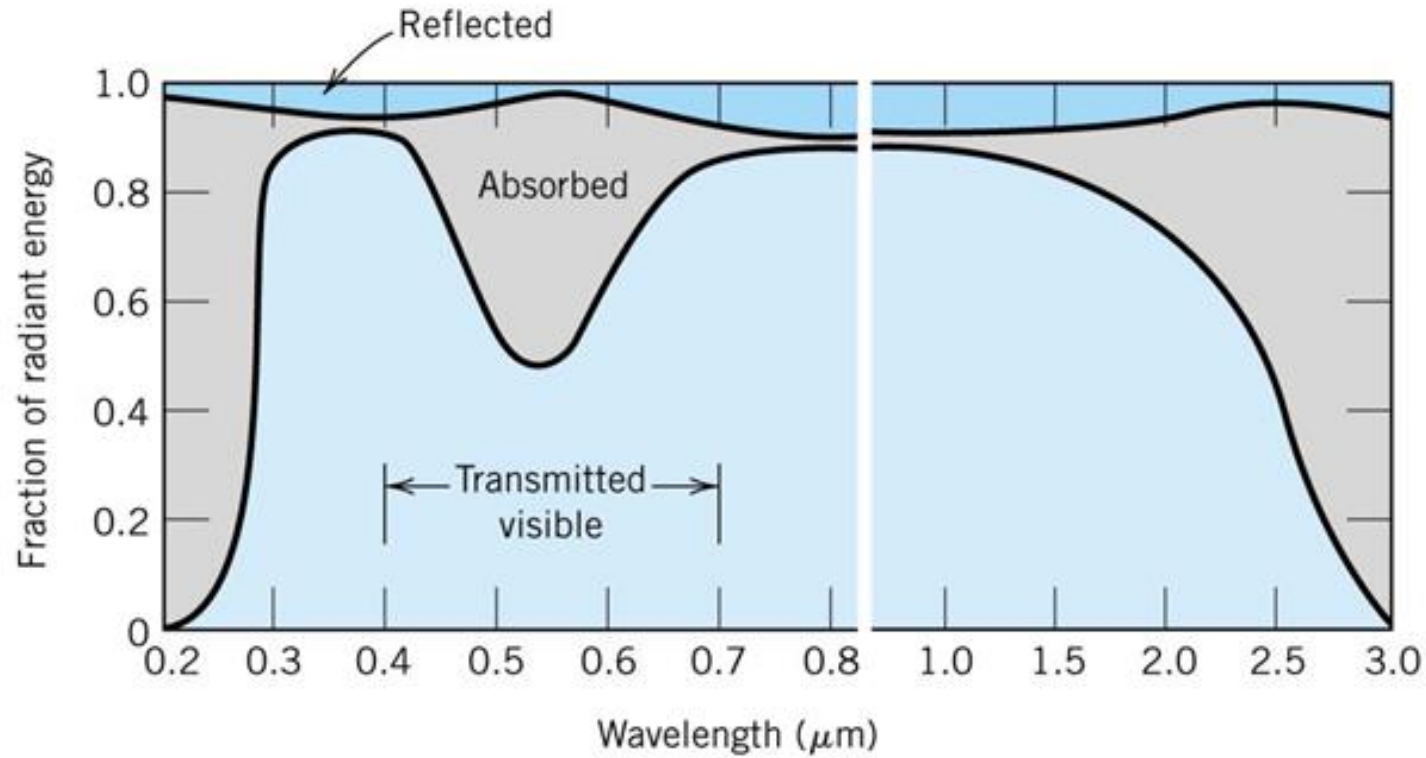


FIGURE 21.8 The variation with wavelength of the fractions of incident light transmitted, absorbed, and reflected through a green glass. (From W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd edition. Copyright © 1976 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

Color

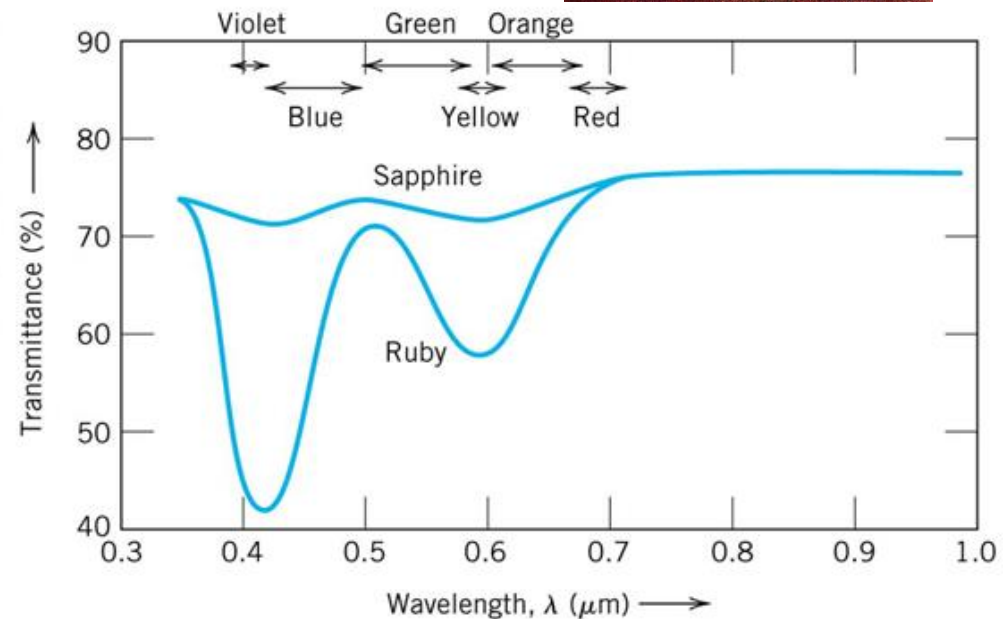


- Color determined by sum of frequencies of
 - transmitted light,
 - re-emitted light from electron transitions.



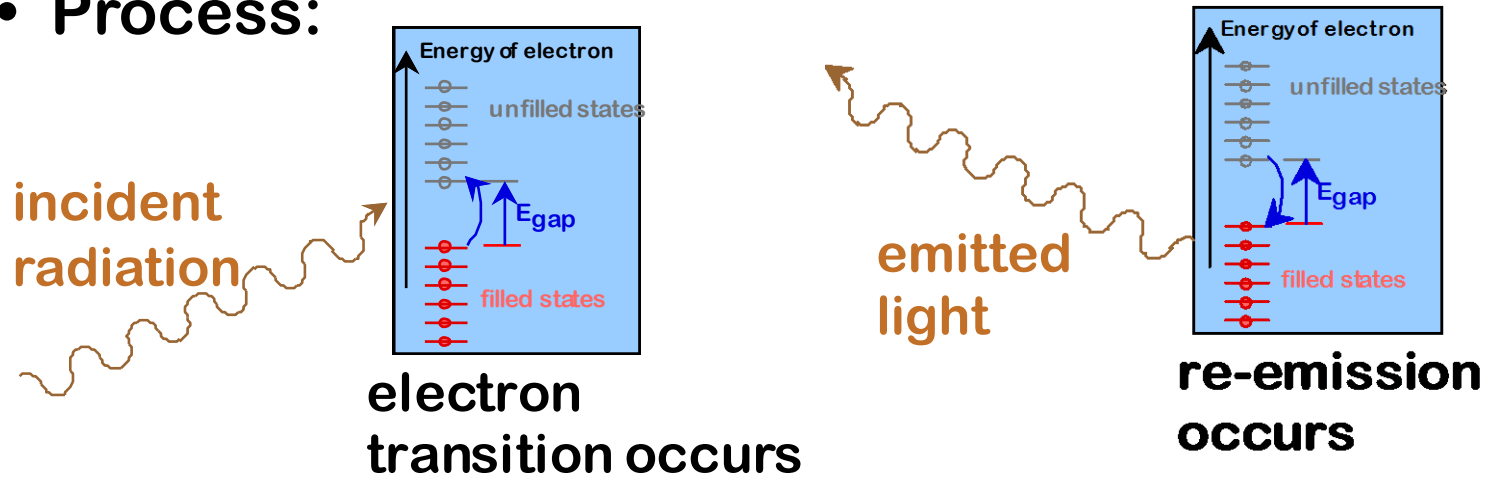
FIGURE 21.9 Transmission of light radiation as a function of wavelength for sapphire (single-crystal aluminum oxide) and ruby (aluminum oxide containing some chromium oxide). The sapphire appears colorless, while the ruby has a red tint due to selective absorption over specific wavelength ranges. (Adapted from “The Optical Properties of Materials,” by A. Javan. Copyright © 1967 by Scientific American, Inc. All rights reserved.)

red green
blue orange
black blue
yellow gray
red pink

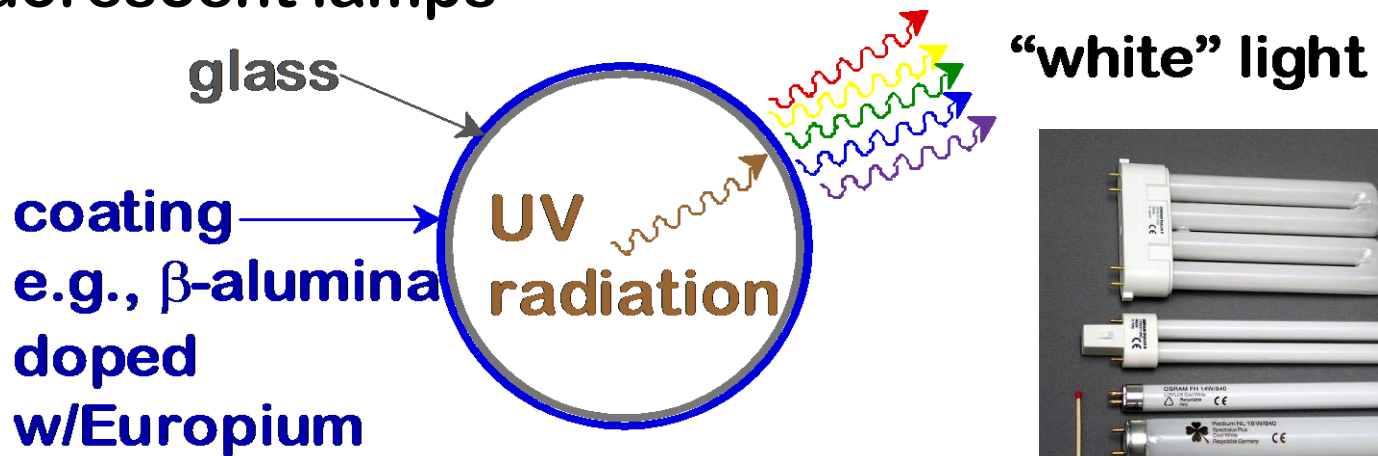


APPLICATION: LUMINESCENCE

- **Process:**



- **Ex: fluorescent lamps**





Fluorescence



Luminescence from CdSe nanocrystals
doped into a sol-gel matrix

green → 2nm CdSe nanocrystals

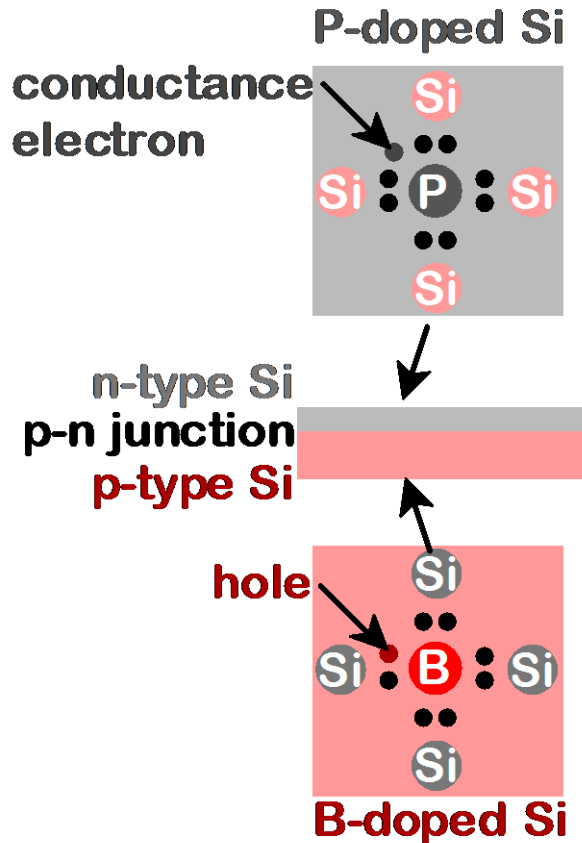
red → 8nm CdSe nanocrystals



Phosphorescence

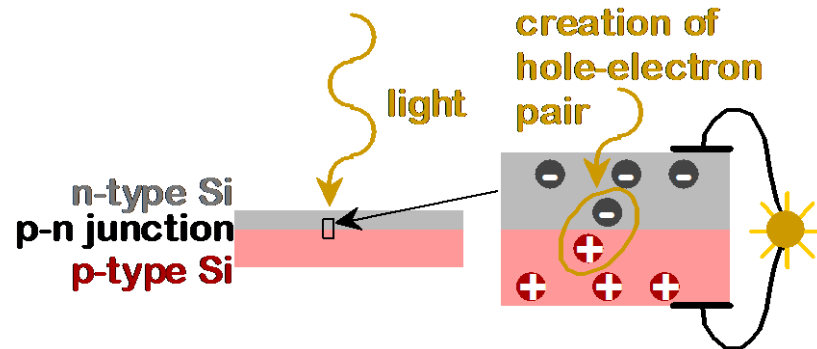
APPLICATION: SOLAR CELL

- **p-n junction:**

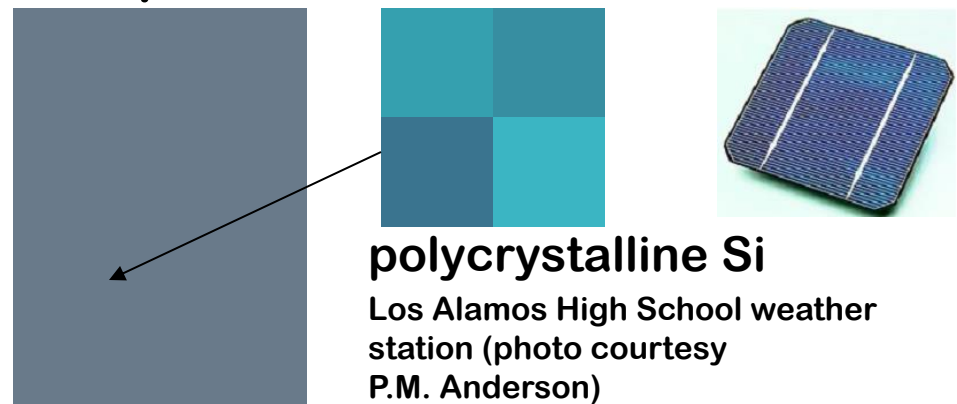


- **Operation:**

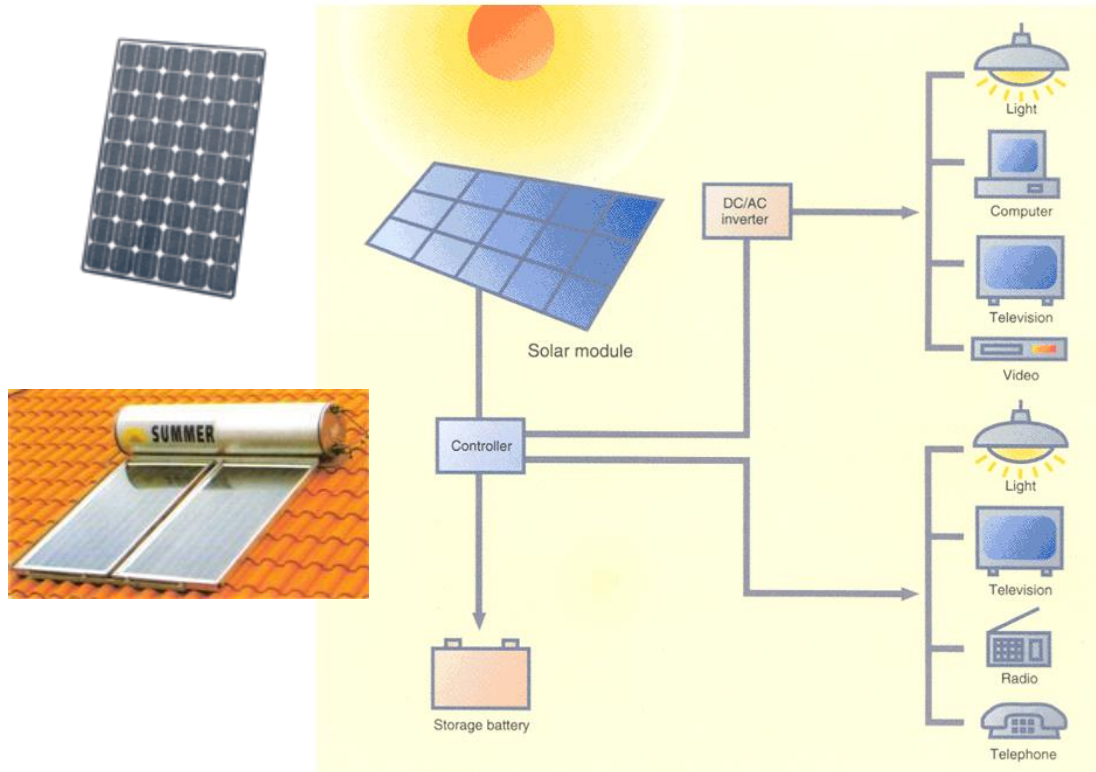
- incident photon produces hole-elec. pair.
- typically 0.5V potential.
- current increases w/light intensity.



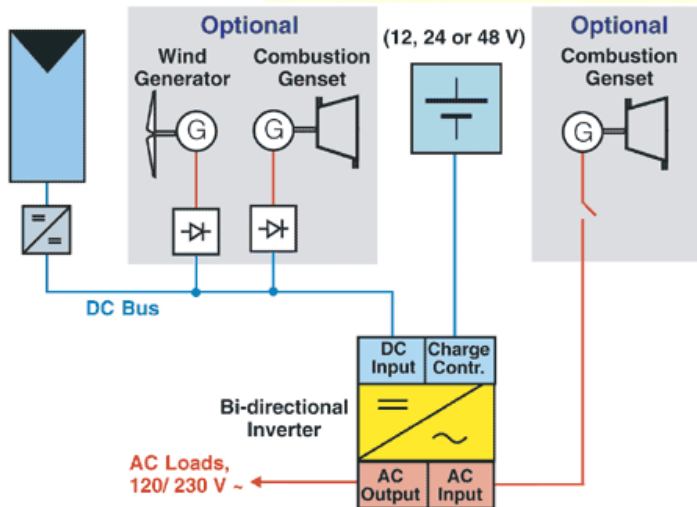
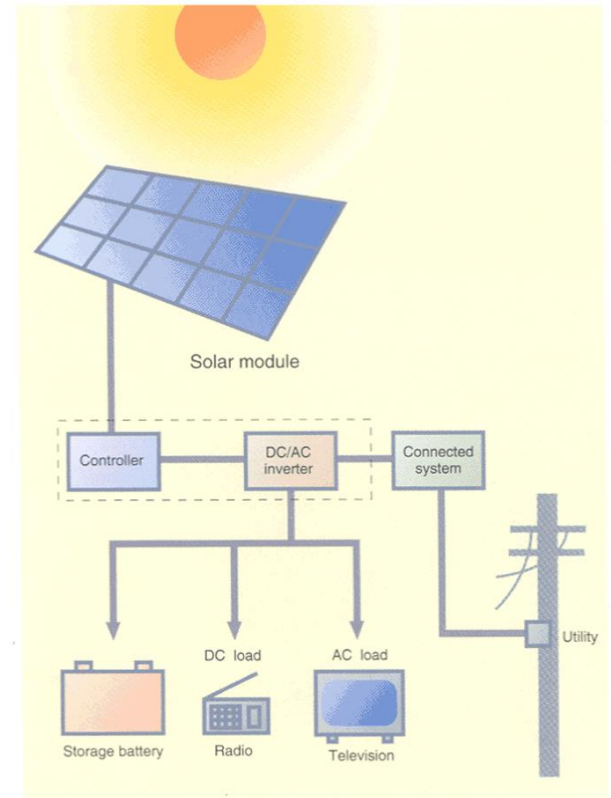
- **Solar powered weather station:**



Stand-Alone System



Grid Connected System



APPLICATION: FIBER OPTICS

- Design with stepped index of refraction (n):

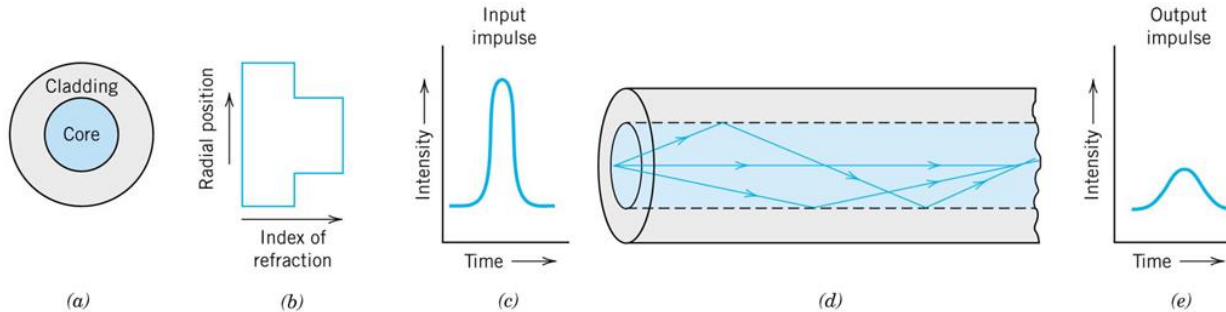


FIGURE 21.19 Step-index optical fiber design. (a) Fiber cross section. (b) Fiber radial index of refraction profile. (c) Input light pulse. (d) Internal reflection of light rays. (e) Output light pulse. (Adapted from S. R. Nagel, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 25, No. 4, p. 34, 1987.)

- Design with parabolic index of refraction

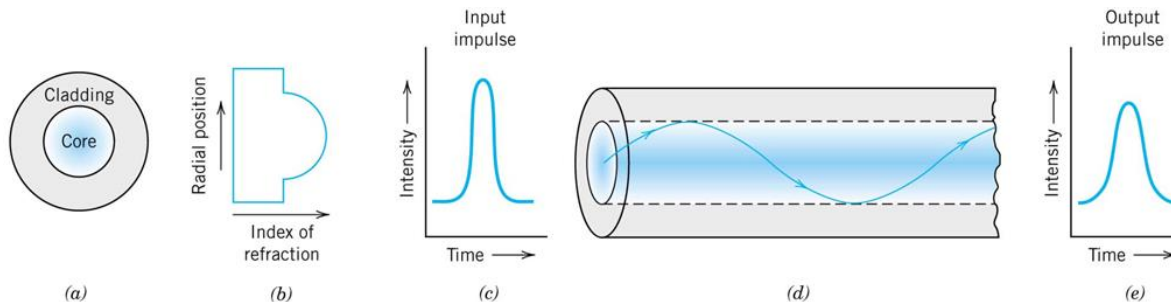
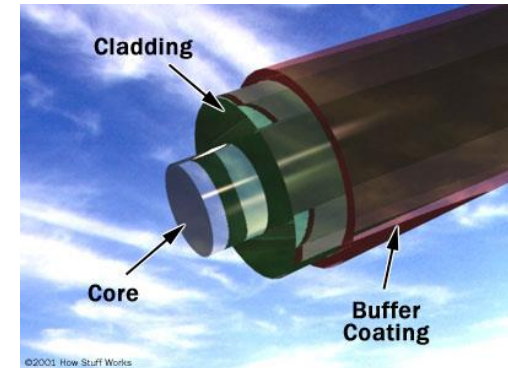
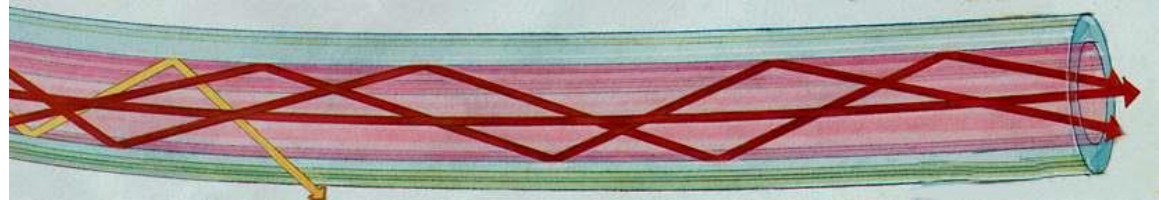
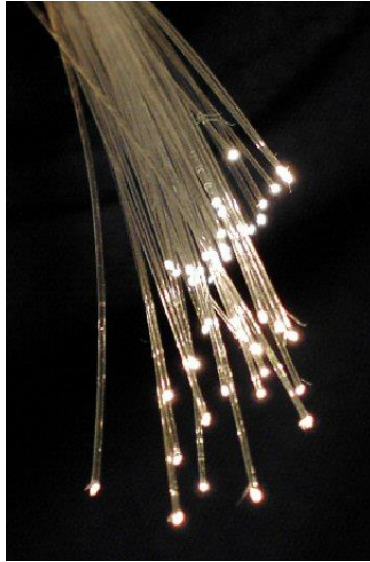


FIGURE 21.20 Graded-index optical fiber design. (a) Fiber cross section. (b) Fiber radial index of refraction profile. (c) Input light pulse. (d) Internal reflection of a light ray. (e) Output light pulse. (Adapted from S. R. Nagel, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 25, No. 4, p. 34, 1987.)



- Parabolic = less broadening = improvement!



SUMMARY

- When light (radiation) shines on a material, it may be: reflected, absorbed and/or transmitted.

- Optical classification: transparent, translucent, opaque

- Metals:

fine succession of energy states causes absorption and reflection.

- Non-Metals:

color is determined by light wavelengths that are transmitted or re-emitted from electron transitions.

color may be changed by adding impurities which change the band gap magnitude (e.g., Ruby)

- Refraction: speed of transmitted light varies among materials.