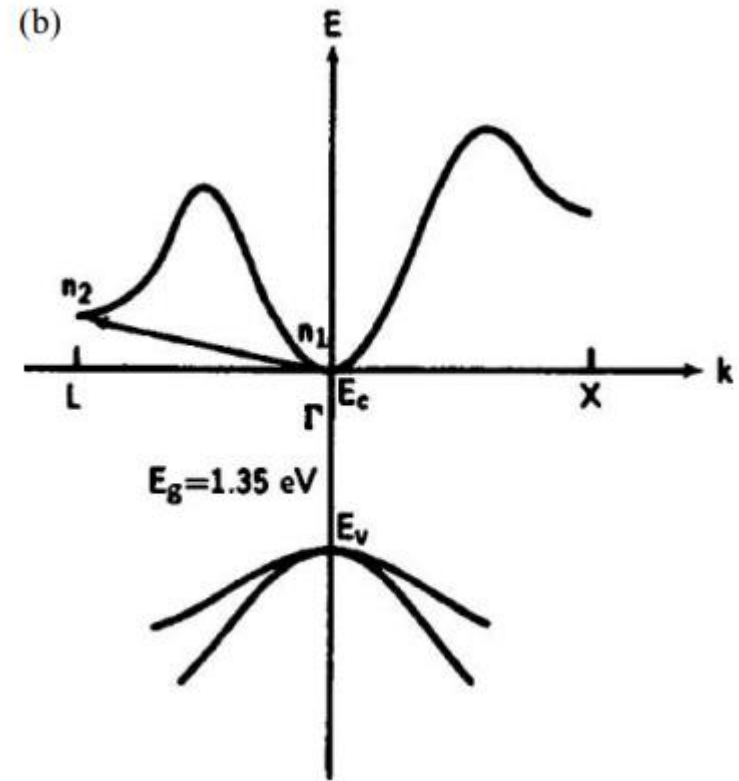
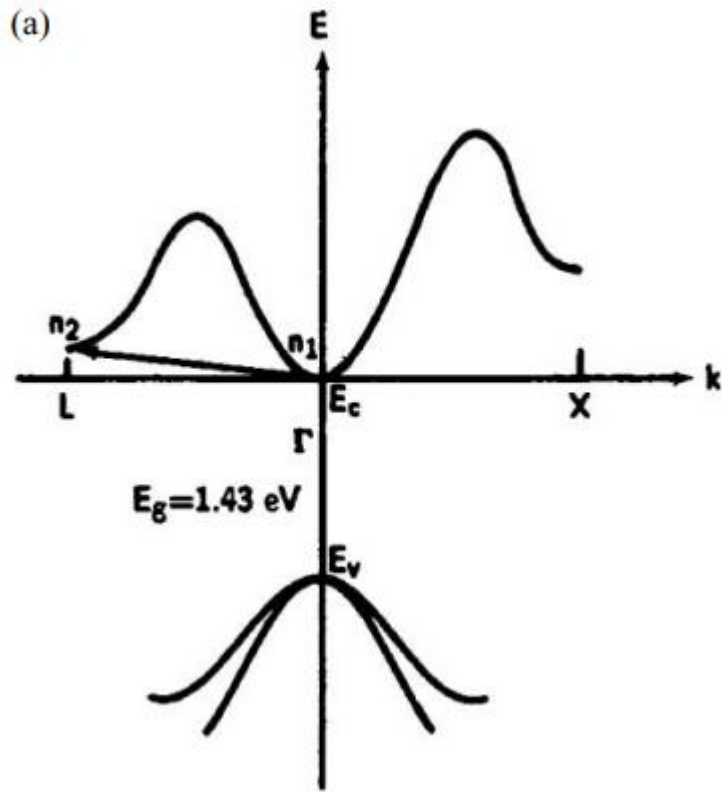


CƠ CHẾ ĐIỆN TRỞ VI PHÂN ÂM

Cơ chế điện trở vi phân âm là gì?

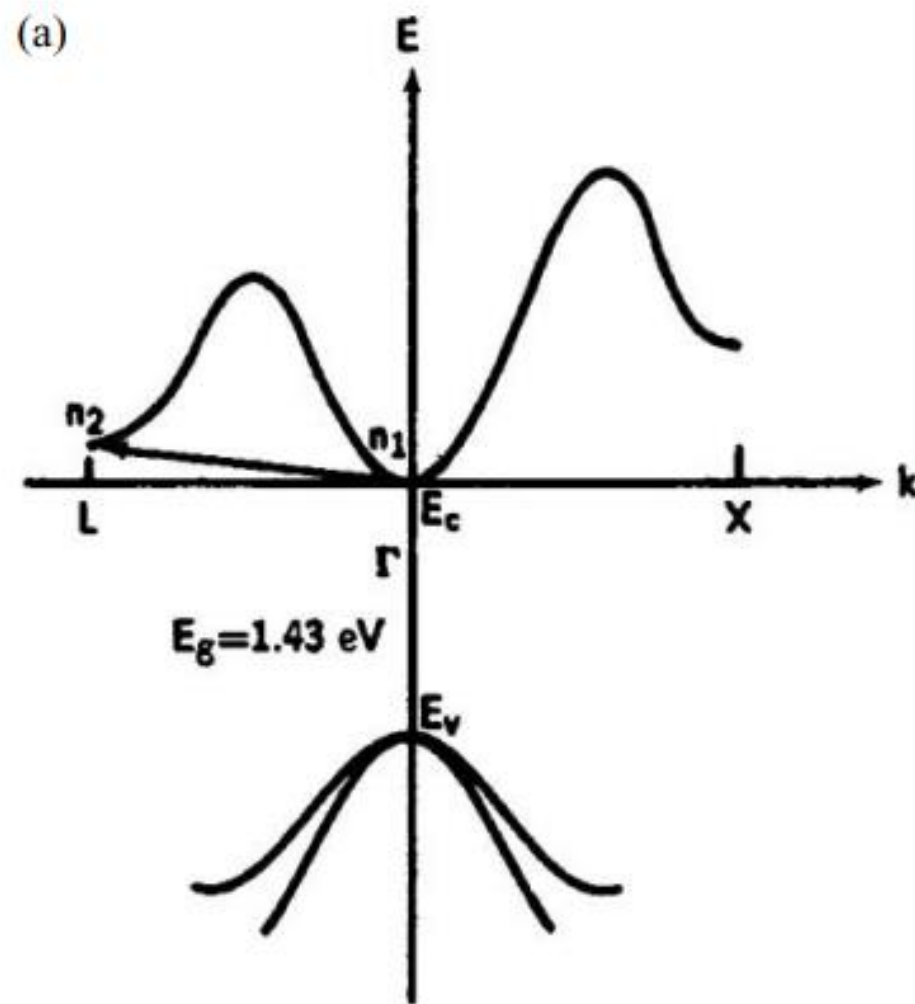
- Hiện tượng tăng cường độ điện trường (hoặc điện áp) dẫn đến vận tốc trôi dạt của điện tử giảm (cường độ dòng điện chạy qua linh kiện giảm theo) được gọi là hiện tượng điện trở vi phân âm.S

Giải thích bằng mô hình 3 thung lũng



Giải thích

- Nguyên nhân tạo ra cơ chế điện trở vi phân âm: do sự chuyển dời điện tử do trường (điện trường) từ thung lũng ở vùng dẫn có độ linh động cao và năng lượng thấp sang (thung lũng gamma) tới các thung lũng vệ tinh ở vùng dẫn có độ linh động thấp hơn và năng lượng cao hơn (thung lũng L)



Vận tốc trôi dạt trung bình

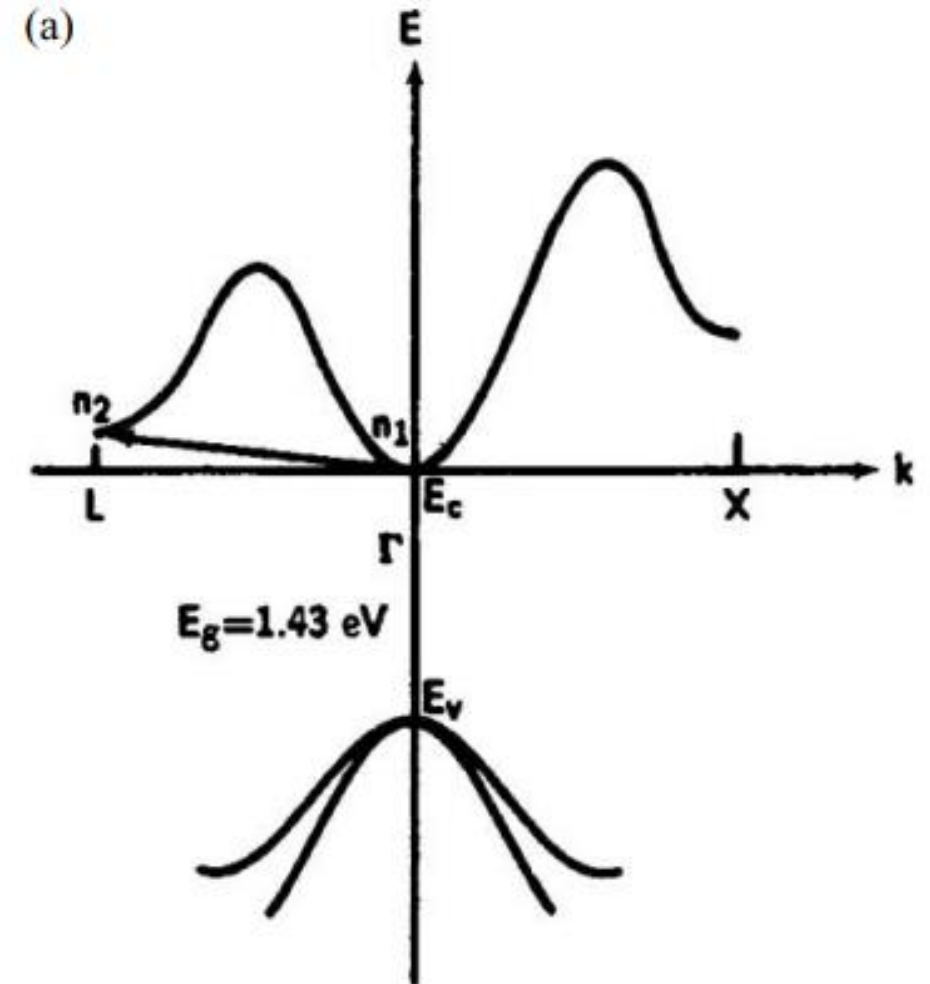
$$v_d = \left(\frac{\mu_1 n_1 + \mu_2 n_2}{n_1 + n_2} \right) \epsilon \approx \frac{\mu_1 \epsilon}{1 + (n_2/n_1)}$$

n_1, μ_1 : mật độ điện tích và độ linh động

ở thung lũng thấp hơn;

n_2, μ_2 : mật độ điện tích và độ linh động

ở thung lũng cao hơn;



$$\frac{n_2}{n_1} = R \cdot \exp(-\Delta E_{21}/(k_B T_e))$$

ΔE_{21} : hiệu năng lượng giữa
thung lũng cao hơn và thấp hơn;
 T_e : nhiệt độ electron.

$$R = \left(\frac{\nu_2}{\nu_1}\right) \left(\frac{m_2^*}{m_1^*}\right)^{3/2}$$

$\frac{\nu_2}{\nu_1}$ là tỉ số mật độ trạng thái của electron.

GaAs, $\nu_1 = 1$ $\nu_2 = 4$,

$$m_1^* = 0.067m_0$$

$$m_2^* = 0.55m_0$$

$$R = 94.$$

Nhiệt độ electron được cho bởi

$$T_e = T + \left(\frac{2q\epsilon V_d \tau_e}{3k_B} \right)$$

T : nhiệt độ mạng;

τ_e : thời gian hồi phục năng lượng (cỡ 10^{-12} s)

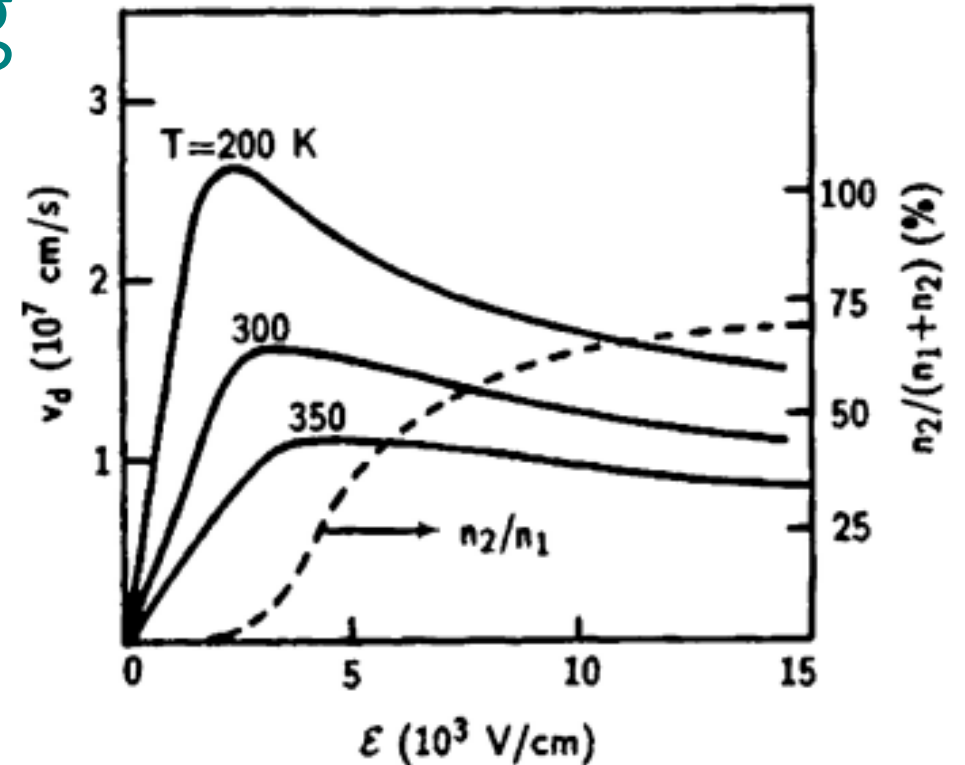
Vận tốc trôi dạt trung bình

Vận tốc trôi dạt trung bình

$$v_d = \frac{\mu_1 \epsilon}{1 + R \cdot \exp(-\Delta E_{21} / (k_B T))}$$

Đồ thị vận tốc – điện trường

- Điện trường nhỏ: **vận tốc tăng tuyến tính theo điện trường** và đạt cực đại tại một giá trị ngưỡng E_c của điện trường (E_c là giá trị bắt đầu của miền điện trở vi phân âm).
- Nếu tiếp tục tăng cường độ điện trường thì vận tốc giảm: miền này ứng với **miền điện trở vi phân âm**.
 - ❖ Điện trường ngưỡng tăng khi nhiệt độ mạng tăng.
 - ❖ Hiệu ứng NDR biến mất khi nhiệt độ mạng quá cao hoặc độ chênh lệch năng lượng giữa thung lũng vệ tinh và thung lũng trung tâm quá nhỏ ($\Delta E_{21} \ll$).



Ở nhiệt độ phòng:

$E_c = 3.2$ kV/cm: GaAs

$E_c = 10.5$ kV/cm: InP

Giải thích cơ chế điện trở vi phân âm

- + Khi điện trường thấp: gần như tất cả các electron sẽ chiếm đầy mức năng lượng cực tiểu có độ linh động cao.
- + Khi tăng điện trường: các electron tăng tốc \rightarrow vận tốc tăng.
- + Điện trường tăng đến mức nào đó thì các electron sẽ nhận đủ năng lượng để chuyển lên các mức năng lượng của thung lũng vệ tinh nơi có độ linh động thấp hơn.
- + Khi điện trường tiếp tục tăng: tỉ lệ các electron có độ linh động thấp sẽ tăng lên, vận tốc trôi dạt sẽ giảm cho đến khi các electron có độ linh động thấp như nhau và khi đó vận tốc trôi dạt sẽ chững lại. **Sự sụt giảm của độ linh động khi tăng điện trường nghĩa là dòng điện chạy qua mẫu vật liệu sẽ giảm khi tăng điện trường, cái được gọi là NDR.**
- + Ở điện áp cao hơn nữa, sự gia tăng của dòng điện theo điện áp sẽ tiếp tục khi phần lớn hạt tải điện được đẩy vào vùng năng lượng-khối lượng cao hơn. Do đó, **NDR chỉ xảy ra trong một phạm vi của điện áp** (xem hình).

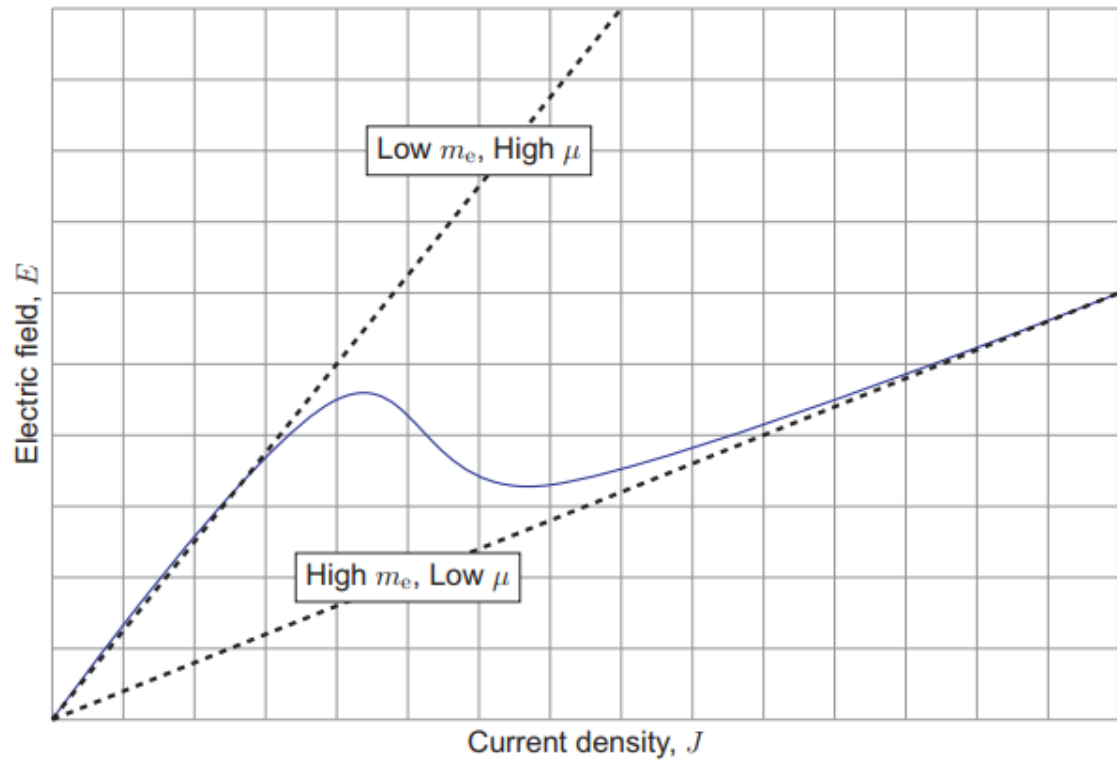


FIGURE 11.17

Electric field/current density characteristic for GaAs or InP.

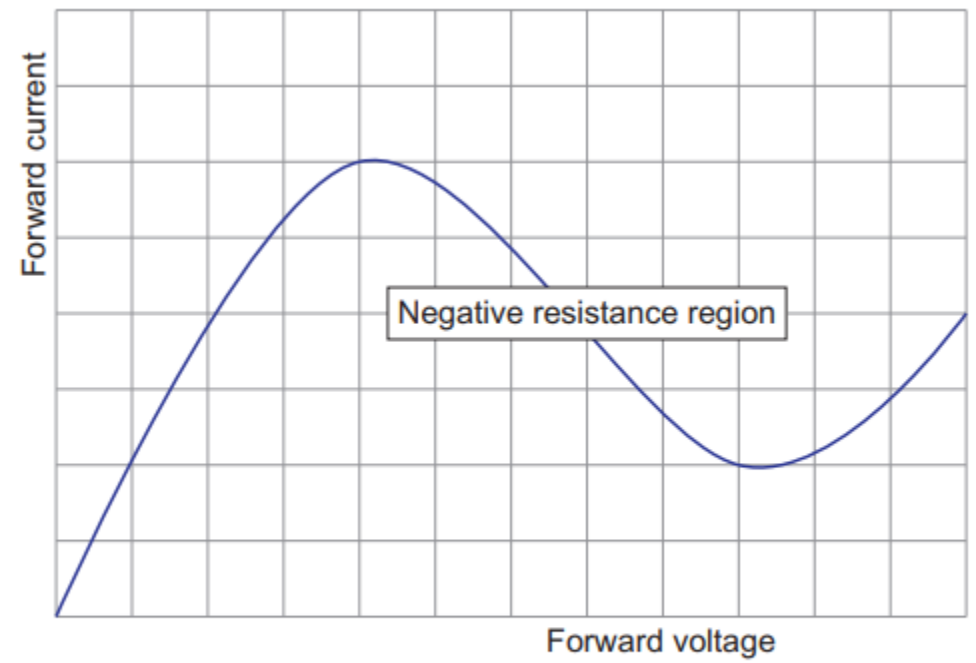


FIGURE 11.18

Gunn diode I - V characteristics.

3 yếu tố để tạo ra cơ chế điện trở vi phân âm

1. Nhiệt độ mạng **đủ thấp** để ở trạng thái cân bằng, hầu hết các electron cư trú ở thung lũng vùng dẫn thấp hơn ($k_B \cdot T \ll \Delta E_{21}$); Nếu nhiệt độ cao quá thì các electron có thể có đủ năng lượng để chuyển lên các thung lũng vệ tinh mà không cần có điện trường.
2. Độ linh động ở thung lũng thấp thì lớn hơn nhiều độ linh động ở thung lũng cao hơn ($\mu_1 \gg \mu_2$); và mật độ trạng thái ở thung lũng cao hơn thì lớn hơn nhiều mật độ trạng thái ở thung lũng thấp hơn ($v_2 \gg v_1$).
3. $\Delta E_{21} \ll E_g$: để cho hiệu ứng đánh thủng hàng loạt không xảy ra trước khi các electron nhảy lên các thung lũng cao hơn nhờ điện trường tác dụng.

☞ Như vậy có thể dự đoán: điện trường nếu mạnh quá sẽ gây ra hiện tượng đánh thủng bán dẫn (các electron ở vùng hóa trị sẽ chuyển lên vùng dẫn), hiệu ứng NDR sẽ không quan sát được nữa.