

トンネル効果 (tunnel effect)

西川 明宏

今、エネルギー V 、幅 L の電位障壁にエネルギー E の粒子が、左から向かっている。 E が、 V よりも小さいとき、古典力学では、粒子は、障壁を通り抜けられず、跳ね返されてしまう(図1-a)。しかし、量子力学では、通り抜けられる可能性がある。それは、粒子が、波動性をもっているからである(図1-b)。これは、粒子の波動性を考慮している量子力学的な効果の一つである。

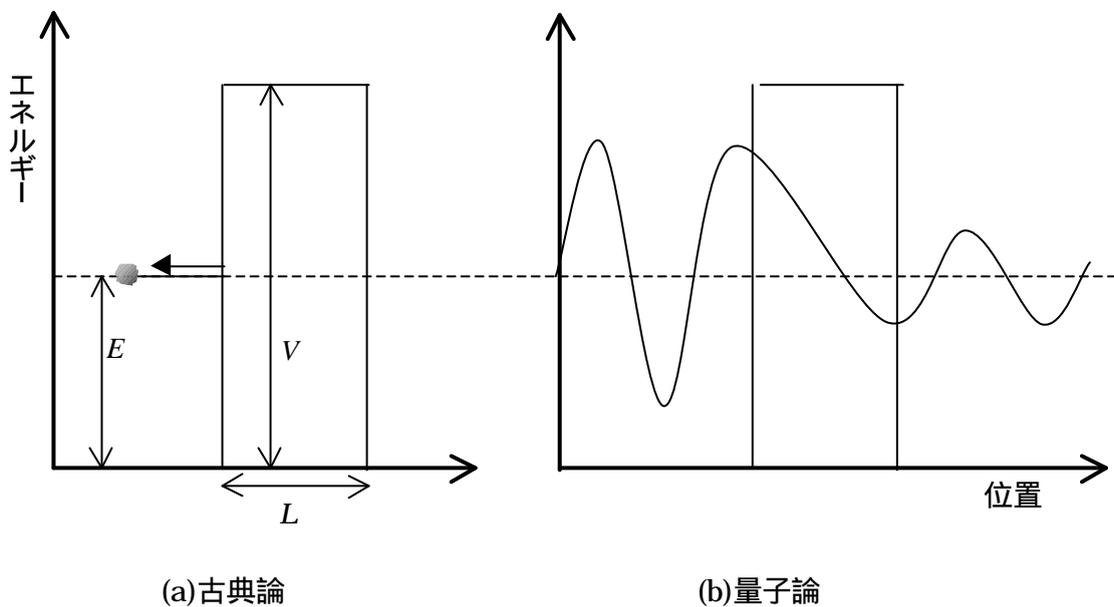


図1 トンネル効果

障壁よりもエネルギーの小さい粒子が、障壁を通り抜けるというこの現象は、障壁を山に例えると、まるで、トンネルがあるように見られるので、トンネル効果と呼ばれる。

粒子の通り抜けは、障壁が低く、幅が狭いほど起こりやすい。透過率の式を示しておく。

$$|T|^2 = \frac{4|r|^2}{(1-|r|^2)^2 \sinh^2 k_2 L + 4|r|^2 \cosh^2 k_2 L}$$

ただし、 k_1, k_2 : 波数 $r = \frac{k_2}{k_1} = \sqrt{\frac{E-V}{E}}$ である。

[応用]

1957年に、江崎 玲於奈氏が、トンネルダイオードを発明。これは、半導体接合部の電位障壁（空乏層）を電子が、トンネル効果で通り抜け移動するために流れるトンネル電流を利用したものである。

図2は、トンネルダイオードの電流 電圧特性を示したものである。それぞれの点に対応したエネルギーバンド図を図3に示す。

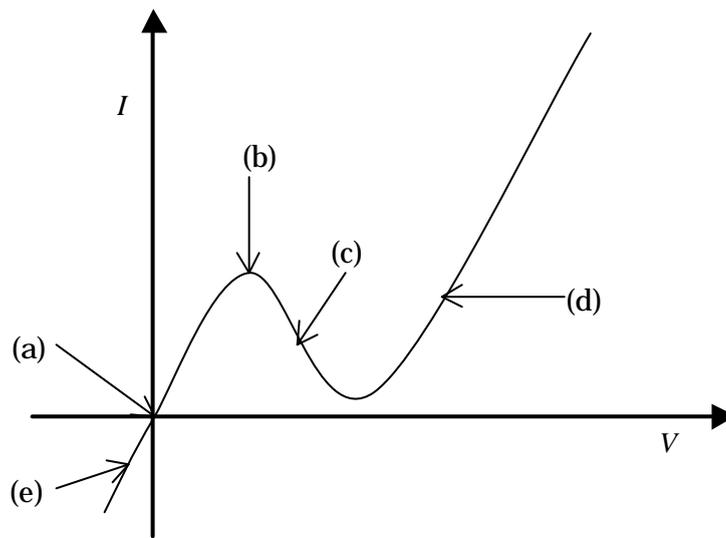
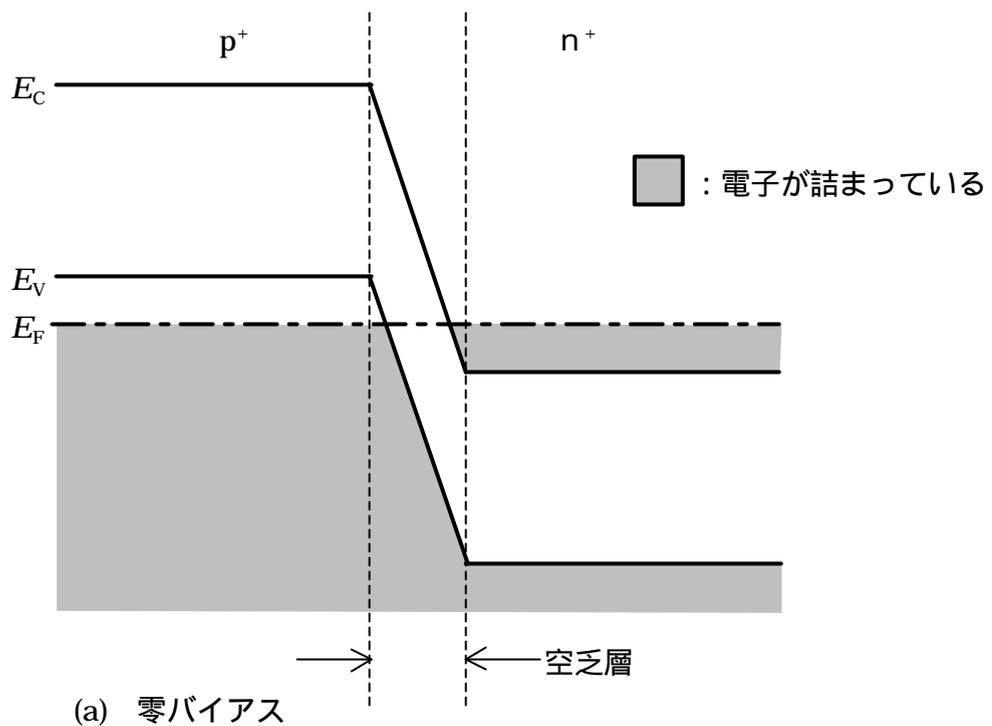
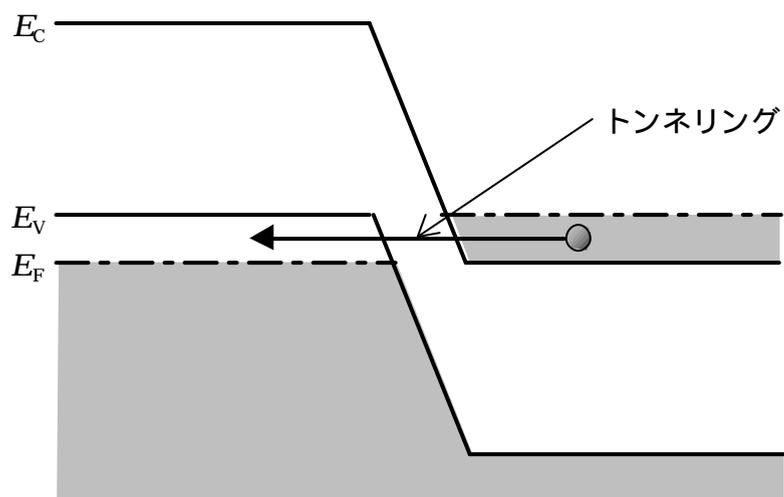
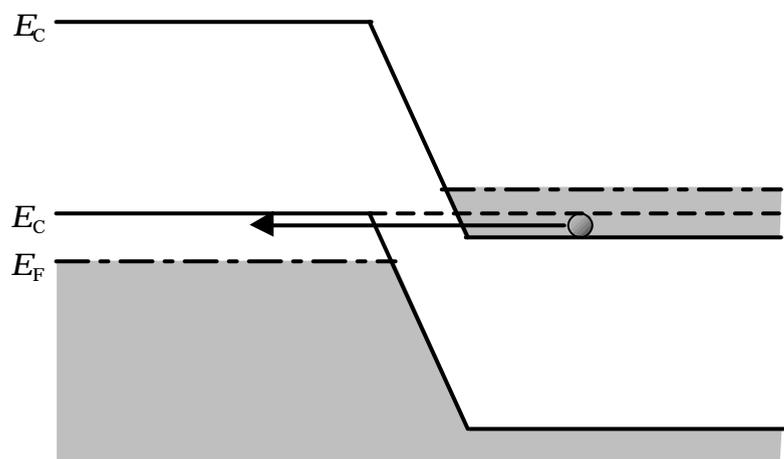


図2 トンネルダイオードの I - V 特性



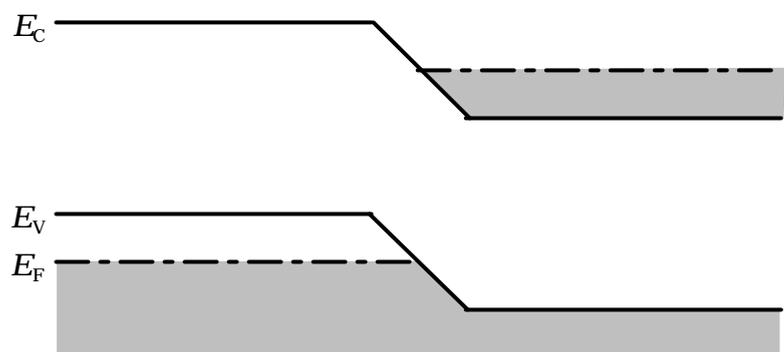


(b) 低い順バイアス



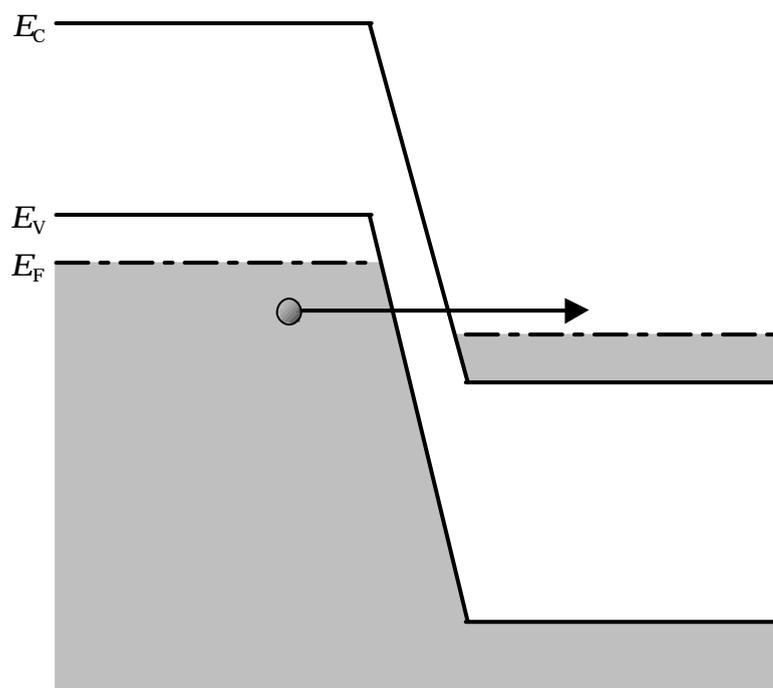
(c) やや低い順バイアス

(b)より電圧を上げると破線より下の部分しかトンネリングが出来なくなるので電流は減少する。



(d) 順バイアス

さらに電圧を上げると、トンネリングは出来なくなり普通のpn接合のI-V特性になる。



(e) 逆バイアス

図3 トンネルダイオードのエネルギーバンド図