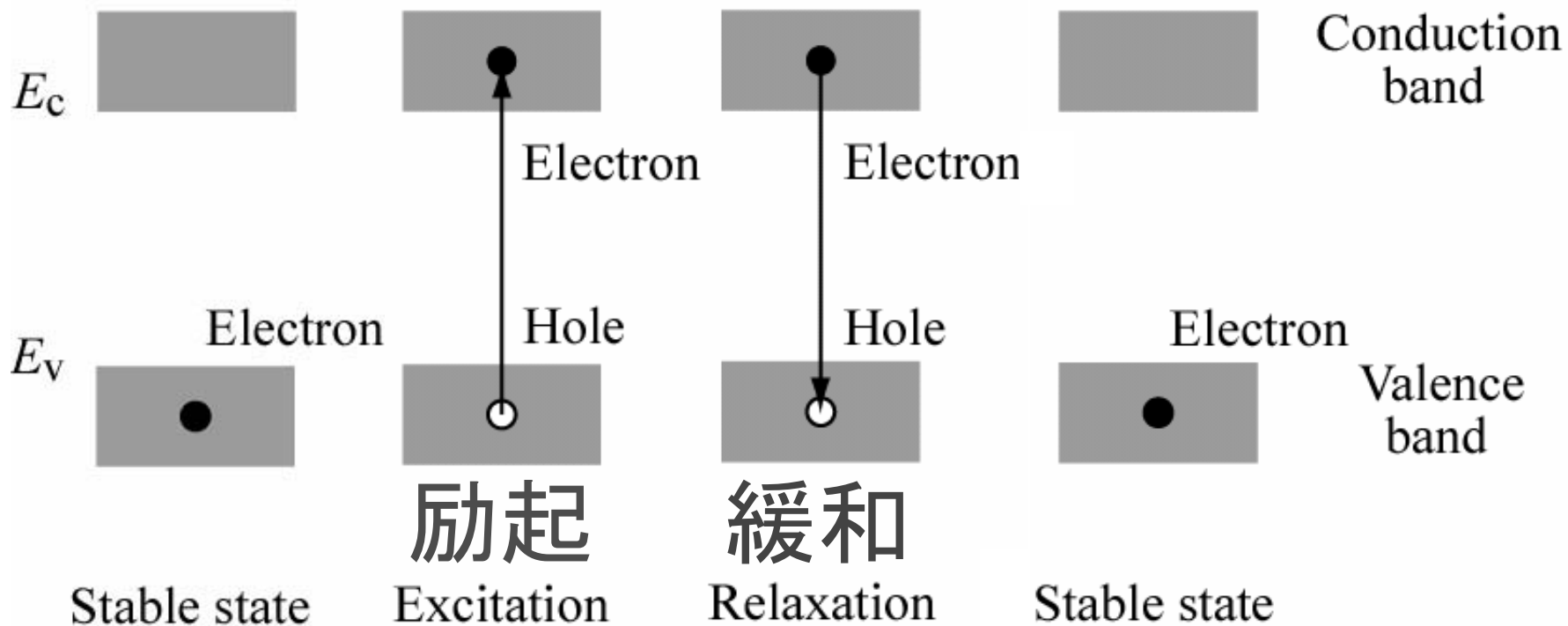


光学遷移

励起と緩和



光学遷移

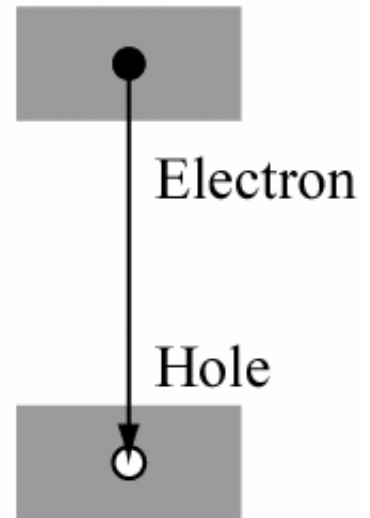
■ 緩和

■ 電子と正孔の再結合

■ 発光再結合

■ LED, レーザー

■ 非発光再結合



緩和
Relaxation

光学遷移

- 保存則

- エネルギー保存則

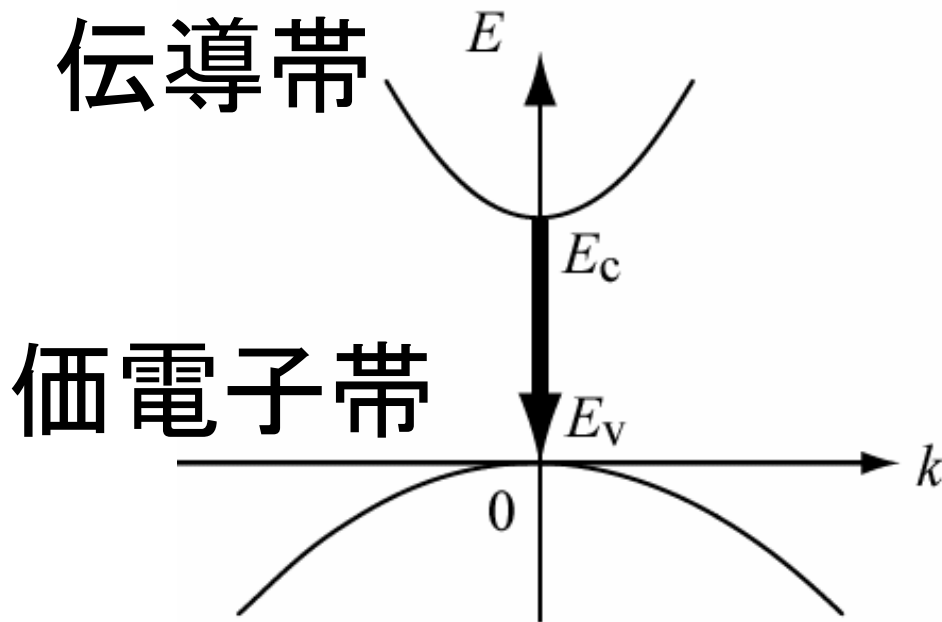
$$E_2 - E_1 = \hbar\omega$$

- 運動量保存則

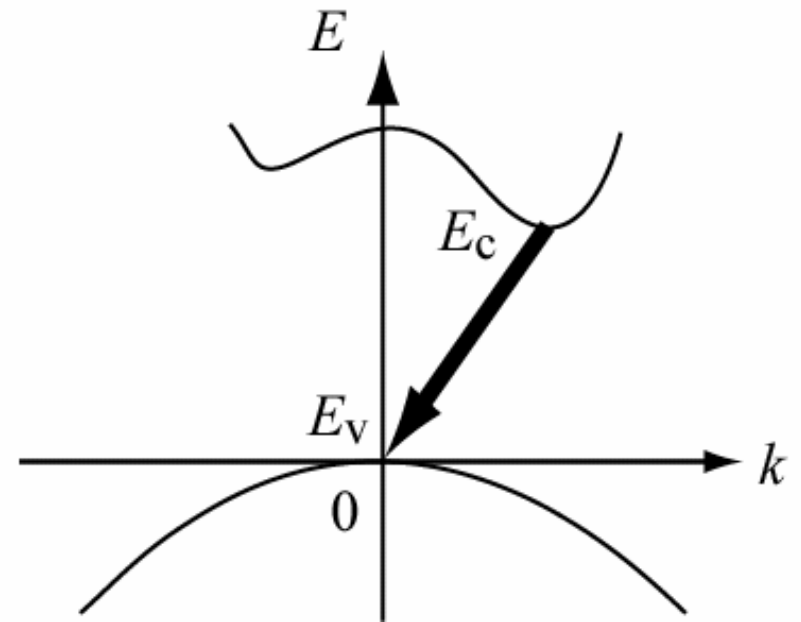
$$\sum_i P_i = \text{constant}, \quad P_i = \hbar k_i = \frac{h}{\lambda_i}$$

光学遷移

■ 直接遷移と間接遷移



直接遷移



間接遷移



光学遷移

■ 遷移確率

■ 直接遷移 遷移確率大

- 二体 (電子, 正孔) 衝突

■ 間接遷移

- 三体 (電子, 正孔, フォノン) 衝突



発光過程の分類

- 寿命

- 蛍光

- 短い: 1 ns — 1 ms

- 燐光

- 長い: 1 ms — 1 day



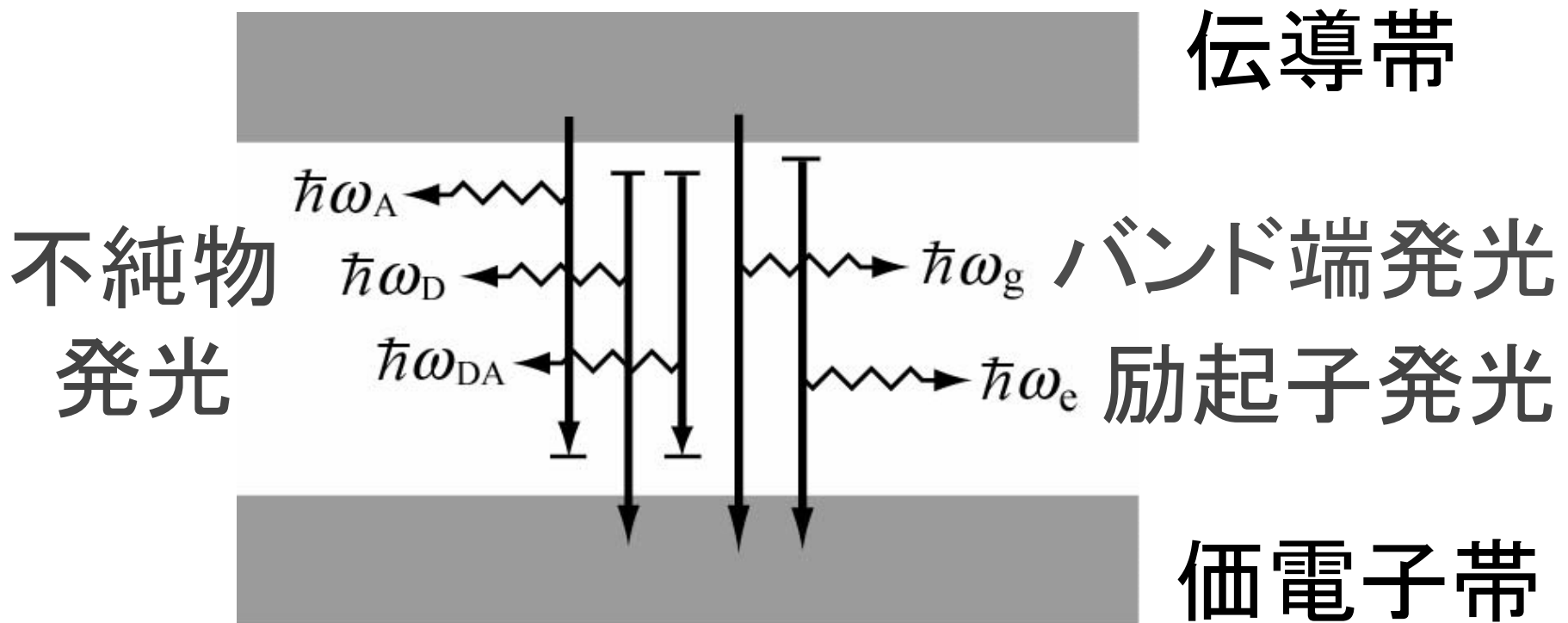
発光過程の分類

■ 励起方法

- 光照射：フォトルミネッセンス
- 電界印加：エレクトロロー
- 電流注入：注入形エレクトロロー
- 電子線照射：カソードー

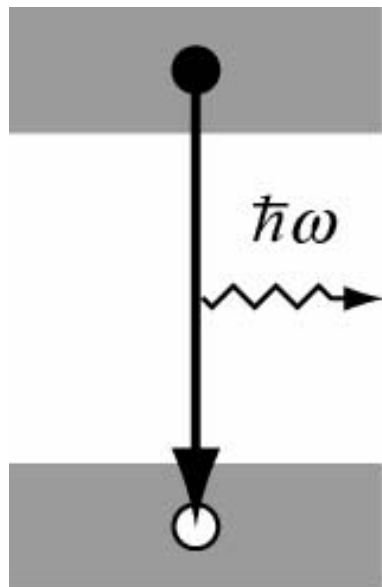
発光過程の分類

■ 遷移に寄与する状態

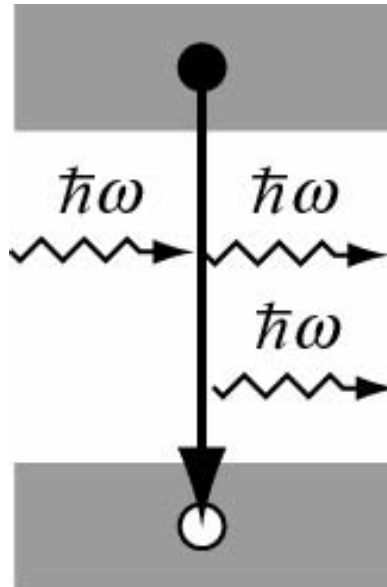


放射と吸収

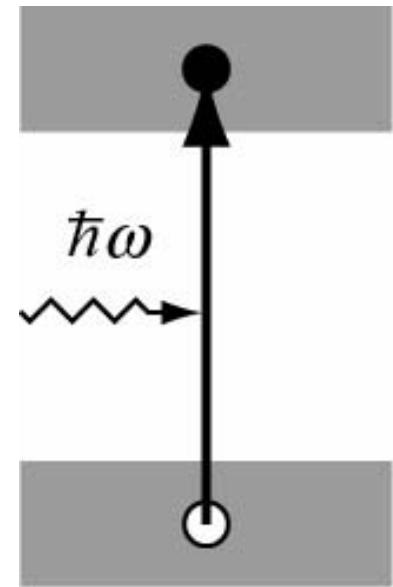
- 自然放出，誘導放出，吸収



自然放出



誘導放出



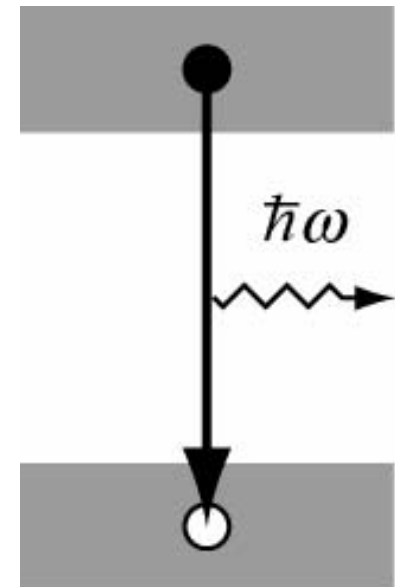
吸収

E_c

E_v

放射と吸収

- 自然放出
 - 入射光の有無に無関係
 - 真空場の揺らぎによる誘導放出

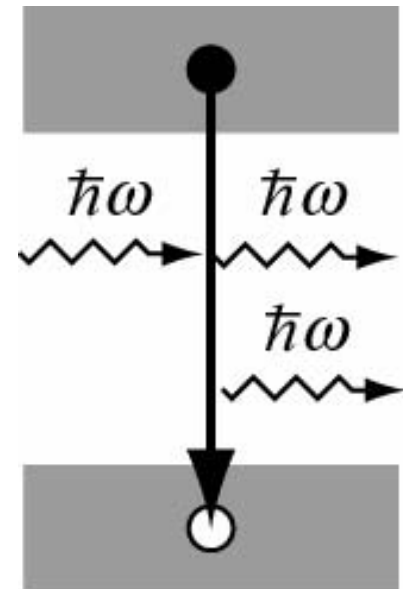


放射と吸収

- 誘導放出

- 入射光と放出光

- 同波長
- 同位相
- 同方向

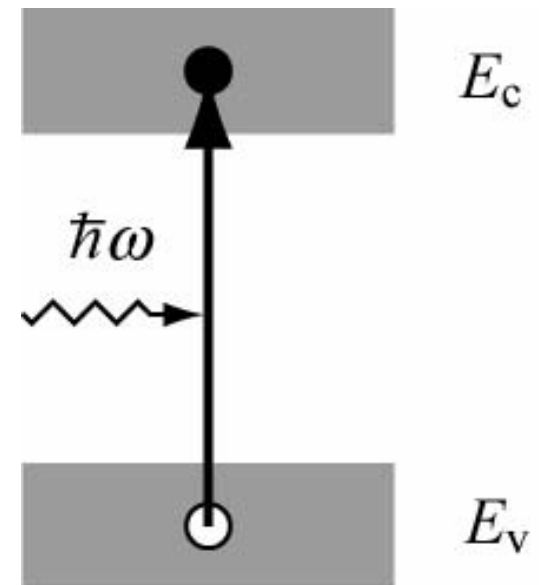


放射と吸収

■ 吸収

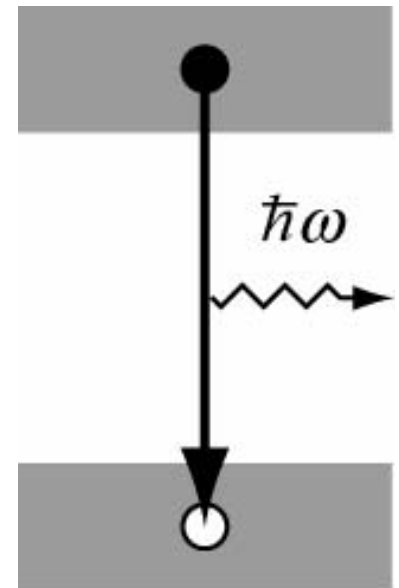
■ 誘導吸収のみ

■ 自然吸収なし



放射と吸収

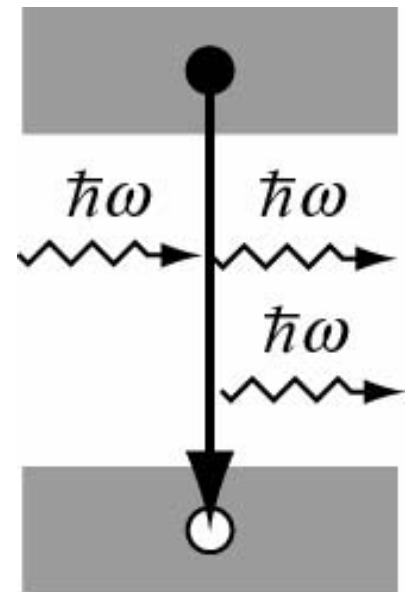
- 発光ダイオード : LED
 - Light Emitting Diode
 - 自然放出による発光



放射と吸収

■ レーザー : LASER

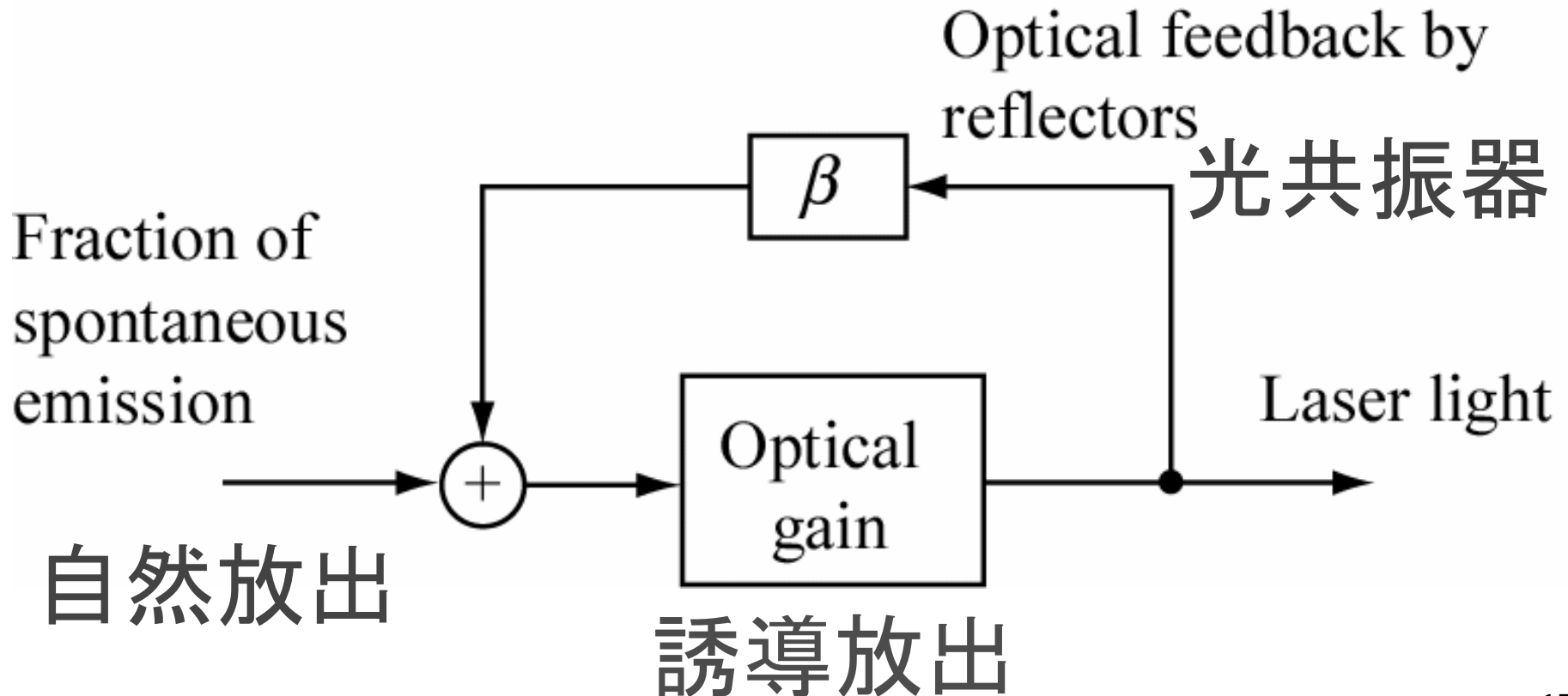
■ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation



■ 放射の誘導放出による光増幅

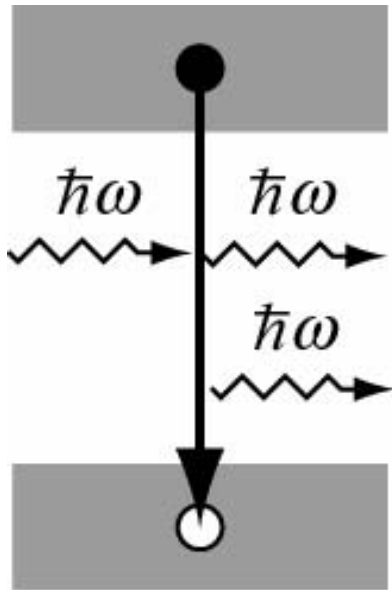
放射と吸収

■ レーザー発振器

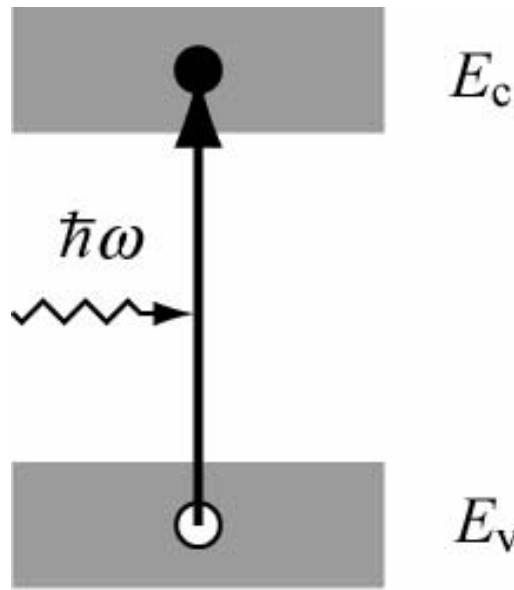


放射と吸収

■ 誘導放出による光増幅



誘導放出



吸収

E_c

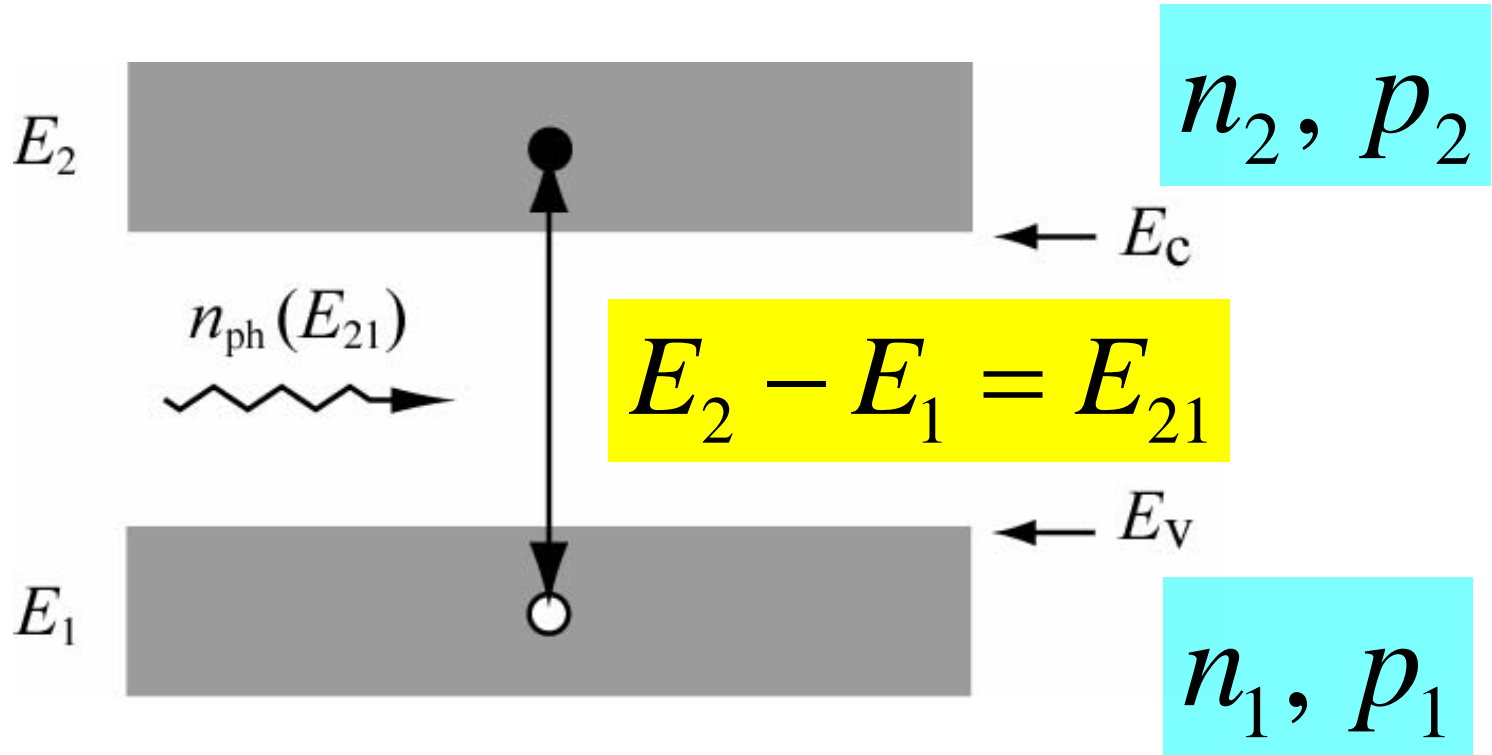
E_v

$$n_c > n_v$$

反転分布

光利得

■ 光学遷移レート



光利得

■ 誘導放出レート

$$r_{21}(\text{stim}) = B_{21} n_2 p_1 n_{\text{ph}}(E_{21})$$

■ 吸収レート

$$r_{12}(\text{abs}) = B_{12} p_2 n_1 n_{\text{ph}}(E_{21})$$

■ 自然放出レート

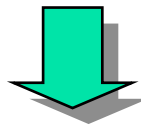
$$r_{21}(\text{spon}) = A_{21} n_2 p_1$$

光利得

■ 熱平衡狀態

$$r_{21}(\text{stim}) + r_{21}(\text{spon}) = r_{12}(\text{abs})$$

$$E_{F1} = E_{F2} = E_F$$



$$n_{\text{ph}}(E_{21}) = \frac{A_{21}}{B_{12} \exp[E_{21}/(k_B T)] - B_{21}}$$

光利得

- EinsteinのA係数, B係数
 - 黒体放射との比較

$$n_{\text{ph}}(E_{21}) = \frac{8\pi n_r^3 E_{21}^3}{h^3 c^3 \exp[E_{21}/(k_B T)] - h^3 c^3}$$

$$B_{21} = B_{12} = B, \quad A = \frac{8\pi n_r^3 E_{21}^3}{h^3 c^3} B$$

光利得

- 正味の誘導放出レート

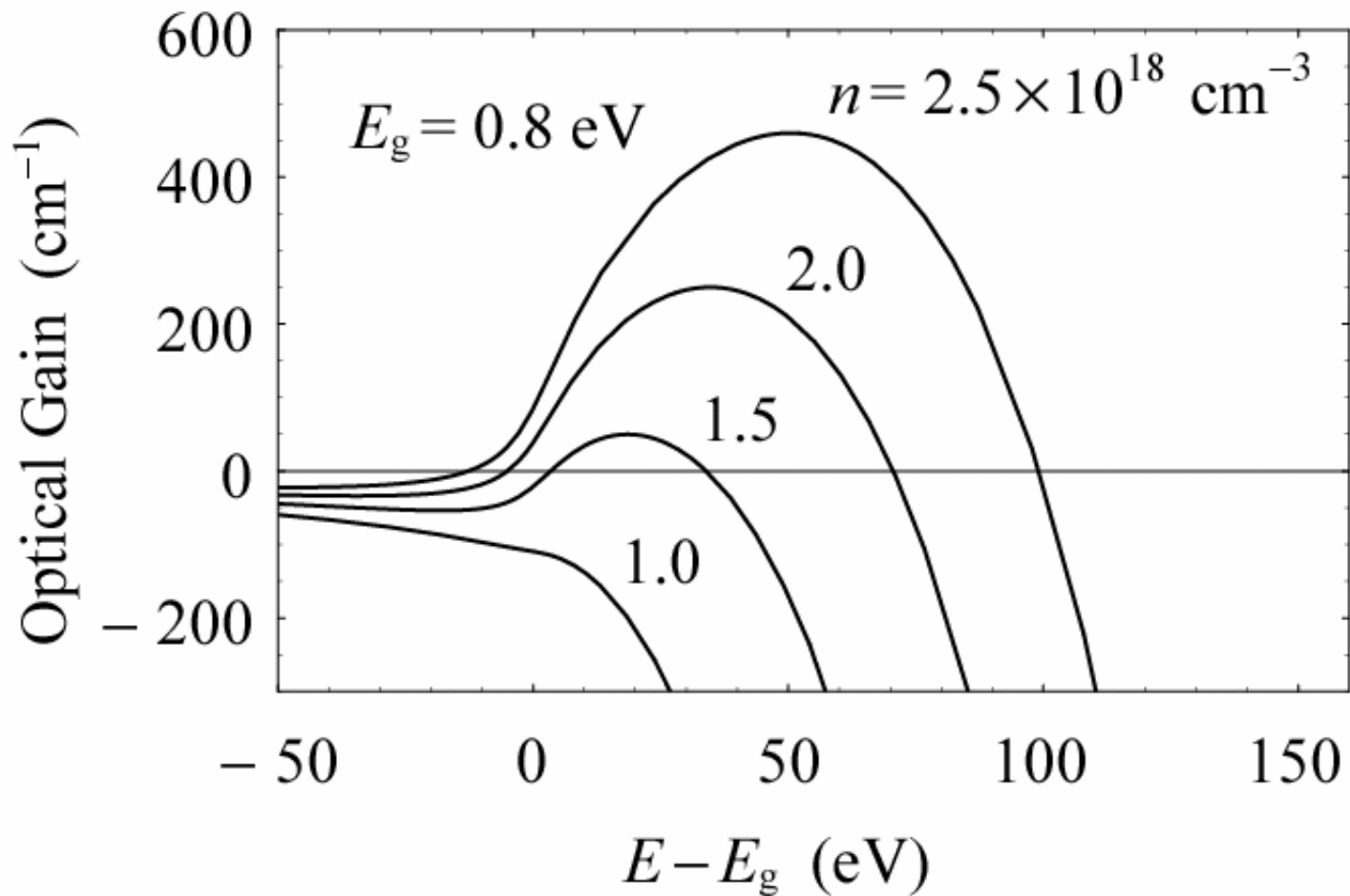
$$r^0(\text{stim}) = r_{21}(\text{stim}) - r_{12}(\text{abs})$$

- 反転分布条件

$$f_2 > f_1$$

$$E_{\text{Fc}} - E_{\text{Fv}} > E_{21}$$

光利得スペクトル



発光スペクトル

