光強度が高くなったときの利得と吸収の飽和

利得係数$\beta$と反転分布密度ΔNについては、前回の講義で考えたように

$\beta = \frac{h\nu}{\frac{c}{n}} B_{21} \Delta N = \sigma \Delta N$という関係式が成り立つ。（$\sigma$は誘導放出断面積であり、ここでは光と相互作用をする原子・分子が一様に分布している媒質を考えているので場所に依存しない）

一方、光の増幅を考えた時、誘導放出により原子・分子から光子にエネルギーを与えることになるため反転分布を形成している原子・イオンのエネルギーが減るので光子を増幅した数密度分だけ，反転分布密度$\Delta N$が減る。結果的に増幅により光強度が高くなればなるほど利得は飽和し、光強度が高ければ吸収も飽和する。

飽和していない利得係数、不飽和利得係数$\beta_0 = \sigma \Delta N_0$となる。

また、利得媒質の中でも結晶性が高い材料の場合、定常状態では$\Delta N = \frac{\Delta N_0}{1+\frac{I}{I_s}}$という関係式が成り立つ。これより利得係数の光強度依存性を表すことができる($\beta = \sigma \Delta N = \sigma \frac{\Delta N_0}{1+\frac{I}{I_s}} = \frac{\beta_0}{1+\frac{I}{I_s}}$)

ここで利得媒質の固有の物性値である飽和光強度$I_s \equiv \frac{h\nu}{\sigma\tau}$（$h\nu$は増幅される光子のエネルギー、$\tau$はレーザー上準位の自然放出寿命）

光強度Iが飽和光強度$I_s$になると反転分布密度ΔNは不飽和の場合の半分になる。

（$\Delta N = \frac{\Delta N_0}{1+\frac{I}{I_s}}$に$I = I_s$を代入）よって光強度$I$がちょうど飽和光強度$Is$になると、利得係数$\beta$も不飽和の利得係数$\beta 0$の半分になる。（$\beta = \sigma \Delta N = \sigma \frac{\Delta N_0}{1+\frac{I}{I_s}} = \frac{\beta_0}{1+\frac{I}{I_s}}$に$I = I_s$を代入）