

長共振器パルス励起縮退光パラメトリック発振器の進行波モデル

A Traveling-Wave Model for a Pulse-Pumped Degenerate Optical Parametric Oscillator in a Long Cavity

阪大工 〇井上 恭

Osaka Univ. 〇Kyo Inoue

E-mail: kyo@comm.eng.osaka-u.ac.jp

[はじめに] 組み合わせ最適化問題の解を得る物理計算機として、コヒーレント・イジングマシンが研究されている[1]。本装置はリング共振器縮退光パラメトリック発振器 (DOPO) を基本要素とする。長共振器内の PPLN をパルス列励起することにより、時間多重パルス光 (イジングスピンの相当) がリングを周回するよう構成されている。DOPO の動作解析には、従来のレーザ発振器モデル、すなわち共振器内に一様分布した光が増幅利得と共振器損失を同時かつ連続的に受けて時間発展する系、の拡張版が用いられている[2]。これに対し本講演では、より実態に即した進行波モデルにより DOPO 発振特性を記述する。

[進行波モデル] 考察する DOPO 構成を図 1 に示す。リング共振器内の PPLN は、リング周回時間に合致した間隔でパルス励起 (励起光周波数 f_0) される。励起開始に伴い PPLN からは真空スクイーズドパルス (光周波数 $f_0/2$) が出力され、リング周回ごとに位相感応増幅 (PSA) されて発振に至る。この系は多段増幅系と等価である (図 2)。初段 PSA から出力された自然放出光は損失と増幅を交互に受けながら伝搬する。増幅利得 > 損失だと光強度が増大し、PSA の利得飽和領域に達する。すると、利得が減少して利得=損失となり、定常状態 (=発振状態) に至る。

[多段増幅] 多段増幅系における PSA は、前段部は未飽和状態/後段部は利得飽和状態で動作する。前段 PSA は量子力学的に記述され、振幅演算子 $\hat{a}_s$ の一スパン当りの伝達特性は、

$$\hat{a}_s^{(n)} = \sqrt{\eta} \{ \hat{a}_s^{(n-1)} \cosh(g_n) + \hat{a}_s^{(n-1)\dagger} \sinh(g_n) \} + \sqrt{1-\eta} \{ \hat{b}^{(n-1)} \cosh(g_n) + \hat{b}^{(n-1)\dagger} \sinh(g_n) \}$$

で表される (η : 一周透過率, $\hat{b}$: 共振器損失による真空場, g_n : n 段目増幅係数)。一方、後段 PSA は古典的に記述され、実数振幅の伝達関数は $A_s^{(n)} = \sqrt{\eta G_n} A_s^{(n-1)}$ 、 n 段目増幅利得 G_n は非線形結合方程式 $\{dA_s/dz = \gamma A_p A_s, dA_p/dz = -\gamma A_s^2\}$ を数値計算して得る (A_p : ポンプ光振幅, γ : 非線形定数)。

[DOPO 出力] 上記モデルに基づいた計算結果を図 3 に示す。レーザ発振特性が示されている。

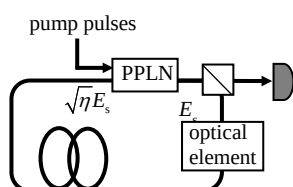


図 1. DOPO 構成

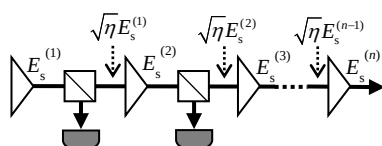


図 2. 多段増幅モデル

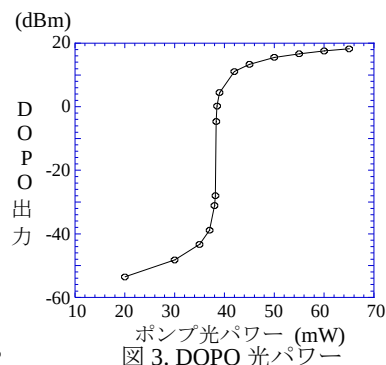


図 3. DOPO 光パワー

[謝辞] 実験データをご提供頂いた NTT・稲垣氏に深謝します。

[1] Inagaka 他, Science **354**, p.603 (2016), [2] Wang 他, PRA **88**, 063853 (2013).