## Talbot 効果を用いた位相同期 2D-VCSEL アレイの レート方程式に基づく同期特性解析 Rate equation-based analysis of mutual injection locking characteristics

for phase locked 2D-VCSEL array using Talbot effect

東工大未来研 °(M2)七條 太一, 宮本 智之

FIRST, Tokyo Tech., °Taichi Shichijo and Tomoyuki Miyamoto

E-mail: shichijo.t.aa@m.titech.ac.jp

【背景】光無線給電等の応用に向けて,アレイ 化が容易な面発光レーザ(VCSEL)が注目され ている。2D-VCSELアレイから高品質ビームを 得るには位相同期動作が必要であり,Talbot 効 果による位相同期構造[1]の実現が期待される。

我々は、基板裏面をTalbot 反射鏡とするモノ リシック Talbot-VCSEL の実現を目指している [2]。これまでに、Talbot 効果による自己結像シ ミュレーションやレーザアレイ製作を行って きたが、動作確認に至っていない。そこで詳細 な同期条件解明に向けて、レート方程式による VCSEL の相互注入同期の数値解析を行ってい る.前回の2または3素子の基礎解析[3]に対 し、今回、2Dの多数デバイスに対する解析を 進めたので報告する。

【解析】以下の光子密度,位相,キャリア密度 に関するN×N個の2Dアレイレーザの相互注 入同期のレート方程式[4]を,4次の陽的ルンゲ クッタ法により数値解析した。各パラメータは VCSELの典型値[5]を参考にした。

$$\begin{split} \frac{dS_{l}(t)}{dt} &= \left[\Gamma G_{0i}(N_{l}(t) - N_{tr}) - \frac{1}{\tau_{p}}\right]S_{i}(t) + \sum_{j=1}^{N^{2}} \frac{2\kappa_{ij}}{\tau_{a}} \sqrt{S_{i}(t)S_{j}(t-\tau)} \cos(\phi_{j}(t-\tau) - \phi_{i}(t) + \theta_{ij}) + \Gamma R_{sp} \\ \omega_{i}(t) &= \frac{d\phi_{i}(t)}{dt} = \omega_{0i} + \frac{\alpha}{2} \left[\Gamma G_{0i}(N_{i}(t) - N_{tr}) - \frac{1}{\tau_{p}}\right] + \sum_{j=1}^{N^{2}} \frac{\kappa_{ij}}{\tau_{a}} \sqrt{\frac{S_{j}(t-\tau)}{S_{i}(t)}} \sin(\phi_{j}(t-\tau) - \phi_{i}(t) + \theta_{ij}) \\ &= \frac{dN_{i}(t)}{dt} = \frac{\ell_{i}}{\ell_{p}} - \frac{N_{i}(t)}{\tau_{a}} - G_{i}(N_{i}(t) - N_{tr})S_{i}(t) \quad i = 1 \sim N^{2} \end{split}$$

Talbot-VCSEL は各素子からの反射光を注入 光に用いるので,自身の戻り光も注入光として 含めた。ここで、 $\kappa_{ij}$ はレーザjからiへの注入 光の結合比,  $\theta_{ii}$ はレーザ i から i への注入光の 伝搬に伴う位相回転である。各素子の初期波長 および初期位相は,平均980 nm,標準偏差0.025 nm の正規分布および、-πからπまでの一様分 布から, ランダムに設定した。Fig.1 にアレイ ピッチ 40 µm, アパチャ径 5 µm の場合の, 11 ×11 個のレーザの相互注入による波長の時間 変化をt = 10<sup>-9</sup> sまで示す。同様に, Fig.2 にア パチャ径 11 µm の場合の時間波長および, Fig.3 にt = 0 (左図) およびt = 10<sup>-9</sup> (右図) のとき のアレイ位置に対する波長分布を示す。Fig.2 は Fig.1 と比べて、それぞれの波長が強く結合 しており,一部の波長は長波長側にシフトし同 期しており,同期していない波長が初期波長付 近(980 nm)で激しい変動が起こっていること がわかる。また, Fig.3 から中心付近のアレイ

素子は外側の素子に比べて,多数の素子から比 較的強い戻り光が注入されるため,中央付近の 素子の波長が同期することが確認できる。

【まとめ】Talbot-VCSEL 実現に向けて,相互 注入同期のレート方程式を用いた数値解析を 行った。2D アレイ素子における相互注入同期 の解析結果から,適切なアレイ構成および波長 離調を準備できれば同期動作が期待できるこ とを示した。

## 参考文献

- [1] E. Ho, F. Koyama, and K. Iga, Appl. Opt. 29 (1990) 5080.
- [2] 小森, 宮本, 2017 年春季応物 20a-S321-5.
- [3] 七條, 宮本, 2018 年春季応物 18a-B203-4.
- [4] C.H. Chang, L. Chrostowski, and C.J. Chang-Hasnain, IEEE JSTQE 9 (2003) 1386.
- [5] L.A. Coldren, S.W. Corzine, and M.L. Mashanovitch: Diode lasers and photonic integrated circuits, John Wiley & Sons, Inc. 2012.





(left) before and (right) after mutual injection.