

## 世界最小レーザーロケット：思考実験 Development of the smallest rocket in the world.

(有) キューブ I T 塚田 俊久

Cube I T Limited Toshihisa Tsukada

E-mail: tsukada@cube-it.com

【はじめに】 半導体レーザーは光通信や光ディスクの光源などに幅広く用いられている。ここではレーザー出力を推進力として用いる物理実験について述べる。レーザー光による球体浮揚報告 [1] 等を参考に、これまでに作成されたものの中で最も小さいロケットをつくる。その可能性と実現手法について思考する。

【構造】 図 1 に世界最小ロケットの構造を示す。DH 構造の半導体結晶を食刻、切削、劈開して作る。ここでは一例として AlGaAs / GaAs / AlGaAs 三層の DH 構造を取り上げる。GaAs 基板上への液晶成長を用い、成長後基板の GaAs 層を研磨あるいはエッチングで除去する。鏡面用の劈開面に絶縁膜および反射膜を形成し、切削によりレーザー幅を設定する。最後にレーザー光が放出される面を劈開すれば素子が完成する。素子をワイヤボンディングで吊るして光励起レーザーとする。励起光は AlGaAs 層を透過し、GaAs により吸収されるものであればよい。上下に配置した励起光源の強度バランスをとって、励起光圧力の影響を最小限に止める。

【計算式】 レーザ光出力を  $P_0$  ( $W = J/s$ ) とすると素子に加わる加速度  $a$  は光速  $C$ 、レーザー質量  $m$  により

$$a = P_0 C^{-1} m^{-1} \quad (1)$$

と書ける [2]。

【ロケット】 最初にワイヤと重力の影響を無視した計算を AlGaAs/GaAs 系の DH 構造で行う (ISS 船外実験装置等を想定)。共振器はできるだけ小さい方が望ましい。共振器長  $L = 400 \mu\text{m}$ 、幅  $w = 50 \mu\text{m}$ 、厚さ  $t = 50 \mu\text{m}$  を想定し、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  の密度を  $4.8 \text{ g/cm}^3$  とすると重量は  $4.8 \mu\text{g}$  となる。

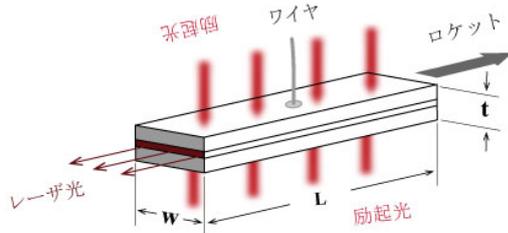


図 1 レーザ ロケット

レーザー出力増大のために図 2 のような双発エンジンとし、出力を  $100 \text{ mW} \times 2 = 200 \text{ mW}$  とすれば、式 (1) から加速度  $a = 0.14 \text{ m/s}^2$  を得る。レーザー発振の時間  $T$  を 5 秒とするとその間の移動距離  $X$  は

$$X = (1/2) a T^2 \quad (2)$$

から  $X = 1.74 \text{ m}$  となる。その時の速度は  $0.7 \text{ m/s}$ 、時速  $2.5 \text{ km/h}$  である。

【振り子】 重力の加速度  $g$  を考慮すると、図 3 に示すように振り子になる。レーザー発振時の加速度と重力成分が均衡する角度  $\theta$  は次式となる。

$$a = g \sin \theta \quad (3)$$

まず、レーザー出力を上記例より高めるために素子の幅を  $w = 100 \mu\text{m}$  と広くする (重量  $m = 9.6 \mu\text{g}$ )。ワイヤ重量  $M$  は、ワイヤ長  $10 \text{ cm}$ 、直径  $10 \mu\text{m}$  の Al 線を想定すると  $M = 21 \mu\text{g}$  となる。素子の加速度を計算する際の実効質量が、回転モーメントの計算から  $M_{\text{eff}} = m + M/3$  で近似できると仮定すると  $M_{\text{eff}} = 16.6 \mu\text{g}$  となる。

この実効質量と倍増出力  $400 \text{ mW}$  を式 (1) に代入すると加速度は  $a = 0.08 \text{ m/s}^2$  となる。これを式 (3) に代入して  $\theta = 2.9$  度、対応円弧の長さ  $5.1 \text{ mm}$  を得る。振り子にするには一旦加速度の均衡点まで励起して励起光源を止めればよい。振り子が揺れている途中で再び励起すれば素子は均衡点へと戻り始める。つまり左右非対称振り子ができる。右半分だけの半振り子も可能であるが、稼働時間割合が高くなるので低温動作が必要となろう。

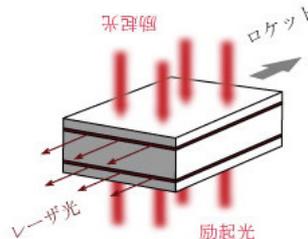


図 2 双発エンジン

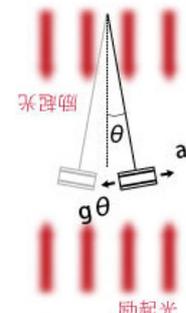


図 3 振り子

[1] <http://dx.doi.org/10.1063/1.1653919>

[2] [http://www.youtube.com/watch?v=GgydH\\_l5pI0](http://www.youtube.com/watch?v=GgydH_l5pI0)