薄膜熱伝導減少効果を考慮した VCSEL 熱抵抗の数値解析と実験の比較

Comparison of results of numerical analysis and experiment of thermal resistance of VCSELs considering thin-layer thermal conductivity reduction effect

東工大未来研 °三村 正樹, 宮本 智之 FIRST, Tokyo Tech, [°]Masaki Mimura and Tomoyuki Miyamoto E-mail: mimura.m.ab@m.titech.ac.jp

1. はじめに

光無線給電[1]には、2次元アレイ化可能な面発光 レーザ(VCSEL)の高効率・高出力密度化が重要で ある.これにはデバイス熱抵抗の高精度設計が必 要である.デバイス熱抵抗はデバイス形状と材料 熱伝導率から解析できるが、数10nm 厚程度以下 の薄膜の熱伝導率は、フォノン不連続性により、 バルク値の1/2-1/3 程度に低下すると報告されて いる[2-5].ただし、この薄膜熱伝導減少効果を十 分に考慮した解析・設計は行われていない.

我々は前回,VCSEL の論文事例構造の数値解 析から薄膜熱伝導減少効果がデバイス熱抵抗に 大きく影響する可能性を示した[6]. 今回,本研究 においてデバイスを製作することで詳細な構造 を基に数値解析を行い実験値との比較を行った.

2. デバイス構造と数値解析モデル

Fig.1 に今回製作および解析した VCSEL の断面 図を示す. 製作構造は, 熱抵抗低減可能な膜厚変 調 DBR-VCSEL[7] である. 波長 0.98µm の Ga_{0.8}In_{0.2}As-3QW, 膜厚変調度 30%の Al_{0.8}Ga_{0.2}A /GaAs DBR, 酸化アパーチャ径 9µm, Au 電極窓 径 11µm, メサ径 31µm, 基板厚 600µm, 基板裏 面全面がヒートシンク(基準温度)である. デバ イス熱抵抗 Rth の実験値は 1102K/W であった.

数値解析は、VCSEL を同軸構造仮定し、2 次元 有限要素法を用いた.文献[2-5]の薄膜熱伝導減少 効果は、薄膜に垂直方向の熱伝導率評価であるた め、水平方向はバルク値とする異方性を導入した. Rth の算出は、全注入電力が活性領域近傍で発熱 した場合の、活性領域の平均上昇温度から求めた. この発熱領域として、厚さ方向は選択酸化層近傍 から量子井戸活性層範囲、横方向はキャリア拡散 を考慮した範囲(アパーチャ径+3μm)とした.

3. デバイス熱抵抗の数値解析と考察

薄膜構造である全エピ層の垂直方向の熱伝導率 k⊥を,バルク値 k およびバルク値の 1/2 の場合 (薄膜値)で Rth を求めた. Table 1 に実験結果と 数値解析結果を比較する.バルク値に対し薄膜値 の Rth は 1.35 倍と計算され,薄膜熱伝導減少効 果が大きな影響を持つ可能性が確認できる.

一方,薄膜値の Rth は,実験値よりも 1.29 倍 大きく,実験値はバルク値の解析結果に近い.つ まり,バルク値による解析がより適切であるよう に見える.しかし,この結果は,解析における発 熱領域の設定が影響していると考えている.今回 解析で設定した発熱領域は活性領域近傍だが,実 際は,デバイス内の電流分布に基づく広範囲での ジュール発熱が生じている.広範囲の発熱では, 活性領域近傍のみを発熱領域と考えた場合より, デバイス熱抵抗が小さく計算される.つまり,よ り正確な発熱領域を考慮すると,薄膜値による解 析が,より実験値に近い結果になると考えられる. (バルク値における Rth が,実験値よりさらに小 さく計算されると考えられる.)

4. まとめ

実験的に製作したデバイス構造の実測のデバイ ス熱抵抗と薄膜熱伝導減少効果を考慮した数値 解析結果を比較した.発熱領域に電流分布を考慮 することで,実験結果との違いはより減少すると 考えられる.現在,電流分布による発熱領域を考 慮した数値解析を進めている.

本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議 の SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「次世代パワ ーエレクトロニクス」(管理法人:(国研)新エネルギー・ 産業技術総合開発機構(NEDO))によって実施されました.

参考文献[1] 光無線給電検討会, http://vcselwww.pi.titech.ac.jp/owpt. [2] T. Yao, APL **51** (1987) 1798. [3] X.Y. Yu et al., APL **67** (1995) 3554. [4] A.M. Lee et al., APL **70** (1997) 2957. [5] J. Piprek et al., PTL **10** (1998) 81. [6] 三村他, 応物 2017春, 15a-422-11. [7] 仁科他, 応物2007秋, 8a-C-2.



Fig. 1 Schematic cross section of VCSEL

Table 1 Measured and calculated thermal resistance

	Bulk k	k_=1/2 k
Measured Rth [K/W]	Calculated Rth [K/W]	Calculated Rth [K/W]
1102	1056	1427