

薄膜積層構造の熱伝導減少効果を考慮した面発光レーザの熱抵抗解析

Thermal Resistance Analysis of VCSELs

Considering Thermal Conductivity Reduction Effect of Thin Multi-layer Structure

東工大未来研 °(M1)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

高性能な光無線給電システム実現には、2次元アレイ化などの特徴を持つ面発光レーザ(VCSEL)アレイの高効率・高出力密度化が必要である。これら特性の向上には、発熱・放熱効果つまりデバイス熱抵抗の高精度設計が必要である。

熱抵抗設計はデバイス形状と材料熱伝導率から比較的容易に解析できるため、VCSELの熱抵抗解析も多数の報告例がある。一方で、DBR厚さ程度以下の薄膜積層構造では、バルク材料の熱伝導率から大きく特性が変わるという報告がある[1-4]。これは、結晶内のフォノンの不連続性のために、ヘテロ界面における熱伝導が抑制されるためである。しかし、この特性を考慮した解析・設計は十分に行われていない。

今回、この薄膜積層構造の熱伝導減少効果が、VCSELのデバイス熱抵抗にどのように影響するのかを解析したので報告する。

2. 薄膜積層構造の熱伝導減少効果

Table 1に、参考文献のAlAs/GaAs多層膜の熱伝導率の測定結果をまとめた。薄膜にするほどバルク熱抵抗からの減少が大きく、平均組成のAlGaAsに近づくことが分かる。一般的なGaAs系VCSEL(0.85-0.98 μm 帯)では、熱伝導率がバルクの1/2-1/3程度まで減少する可能性がある。

3. 解析方法と解析構造

VCSELを同軸構造仮定し、2次元有限要素法により解析した。標準的な構造として、波長1 μm , GaAs/Al_{0.8}Ga_{0.2}As DBR, p-DBRは傾斜組成20 nm 含, 酸化アパーチャ径7 μm , Au電極窓径10 μm , メサ径30 μm , 基板厚100 μm , ヒートシンク(基準温度)を基板裏面全面とした。デバイス熱抵抗は、全注入電力が活性領域で発熱するとし、このときの活性領域の平均上昇温度から求めた。

4. 解析結果

エピ層熱伝導率を、バルク値、バルク値の1/2、1/3にした場合のデバイス熱抵抗を解析した。Fig.1, Fig.2にアレイピッチ(基板直径)、メサ径に対するデバイス熱抵抗の解析結果を示す。

Fig.1より、アレイピッチ100 μm 以下では熱抵抗が上昇するため、この範囲のアレイピッチ設定は制御が重要である。しかし、熱伝導減少効果は、アレイピッチを非常に小さくした場合に匹敵する、大きな影響があることが分かる。このため、

バルク値を用いた設計よりも、実際のレーザ性能が劣化しやすい可能性がある。したがって、薄膜積層構造の熱伝導減少効果を考慮したデバイス構造とアレイ構造の設計が重要である。

Fig.2より、メサ径拡大により絶縁層(ポリマー)から活性領域が遠ざかるのでデバイス熱抵抗は減少するが、メサ径30 μm 以上では効果は少ない。こちらも熱伝導減少効果の影響が大きい。

なお今回は、水平・垂直の熱伝導変化を同じにした。水平熱伝導変化は少ない可能性があるため、今回の解析より影響は低減する可能性もある。

参考文献 [1] T. Yao, APL 51, 1798 (1987). [2] X.Y. Yu et al., APL 67, 3554 (1995). [3] A.M. Lee et al., APL 70, 2957 (1997). [4] J. Piprek et al., PTL 10, 81 (1998).

Table 1

AlAs/GaAs (nm)	Thermal conductivity (W/cm/K)	Ref.
bulk AlAs	0.91	
bulk GaAs	0.44	
bulk Average	0.68	
bulk Al _{0.5} Ga _{0.5} As	0.09	
5/5	0.14	[1]
11/11	0.18	[1]
20/20	0.31	[1]
30/30	0.28	[1]
50/50	0.26	[1]
70/70	0.41	[2]
134/115	0.35±0.05	[4]
DBR ($\lambda=1.55\mu\text{m}$)		

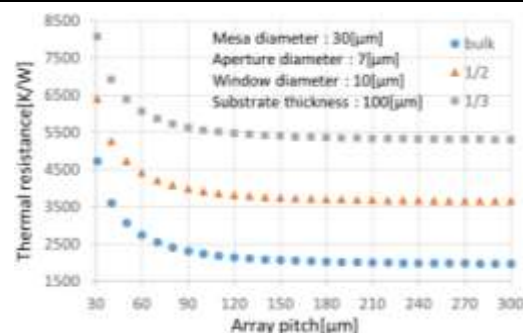


Fig. 1 Thermal resistance vs. array pitch

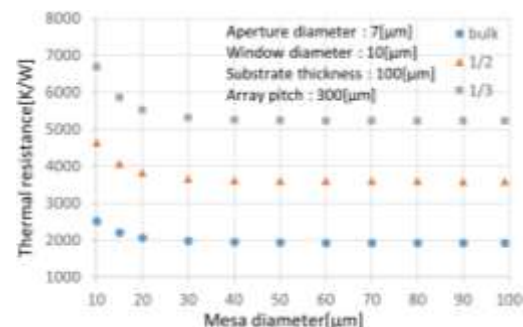


Fig. 2 Thermal resistance vs. mesa diameter