

ファイバーラマン用ヒートシンクの開発

Heat-Pipe Heat-Sink for Fiber Raman Amplifier

島田 守*

Mamoru Shimada

上野 誠三*³

Seizo Ueno

難波 研一*

Kenichi Namba

小林 隆雄*⁴

Takao Kobayashi

延原由利子*

Yuriko Nobuhara

長松 信也*⁵

Shinya Nagamatsu

秀野 晃*²

Akira Hidenō

吉川 徹*⁶

Toru Yoshikawa

概要 DWDMシステムでは、ファイバーラマン増幅器の実用化と励起用レーザーの出力増大によって、長距離の高密度伝送が実現されるようになってきた。しかし同時に励起用レーザーから放出される熱も増加し、増幅器における熱の処理が問題とされるようになってきた。

近年、電子機器の放熱部品としてヒートパイプが注目を浴びており、当社ではヒートパイプの特性を生かして、高い放熱性能と小型化を同時に実現できるヒートパイプ - ヒートシンクの開発をおこなってきている。今回ヒートパイプ - ヒートシンクをファイバーラマン増幅器に適用した結果、高い冷却性能を得ることができたことを本報にて報告する。

1. はじめに

インターネットをはじめとした通信需要の増大が引き金となり、北米を中心にDWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing) システムの普及が進んでいる。光増幅器は、DWDMシステムにおいて信号の長距離伝送には不可欠な構成機器の一つである。これまで主として使用されてきた増幅器は、エルビウムを添加したファイバ中での誘導放出現象を利用したEDFA (Er Doped Fiber Amplifier) であった¹⁾。EDFAの場合には、高出力の励起光を使用すると、非線形光学効果によってノイズが増大するという基本的な特性があるため、使用される励起レーザーは比較的出力のもので放熱設計に対する要求は厳しくなかった。

EDFAの高帯域化を目指した技術開発は現在でも進められているが、最近になってラマン増幅器が実用化されるようになってきた。ラマン増幅器はEDFAよりも早く原理が考案されたものの実用化が遅れていたが、近年になって励起光源用レーザーの高出力化が急激に進んだ結果として、ラマン増幅器においても十分なゲインが得られるようになってきたものである。

ラマン増幅器においては、励起波長を選ぶことによって増幅波長帯域を任意に設定できるため、EDFAに比べて広い増幅帯域を実現することが容易であるという利点を有している。また同時にラマン増幅器には、より高出力の励起光源を使用するこ

とによって容易にゲインを向上させることができるという特徴を合わせて有している²⁾。このようにラマン増幅器にはいくつもの利点があるため、数年後にはDWDMシステムに使用される光増幅器の半分程度がラマン増幅器になるとの予測もある。

ラマン増幅器の実用化を後押ししてきたものが励起光源用レーザーの高出力化であるが、同時に励起レーザーの高出力化によって増幅器全体としての発熱量も増大し、増幅器における熱対策と放熱設計が重要な課題となりつつある。励起用レーザーからの発熱量は、使用される環境、すなわち雰囲気温度や放熱条件により大きく変化するが、例えば光出力250 mW程度のレーザーモジュールの場合には最大で十数Wに達する。多くの場合ラマン増幅器では4～8個程度の励起レーザーを使用してゲインブロックが構成されているため、ゲインブロック1個あたり最大100 W程度の大きな発熱量となることもある。

今回は、本格的な熱対策が求められるようになったファイバーラマン増幅器用として、これまで培ってきたヒートパイプ - ヒートシンクを発展改良し適用した。光増幅器の分野においてヒートパイプ - ヒートシンクを適用したのは、本報告の例が恐らく初めてとみられる。

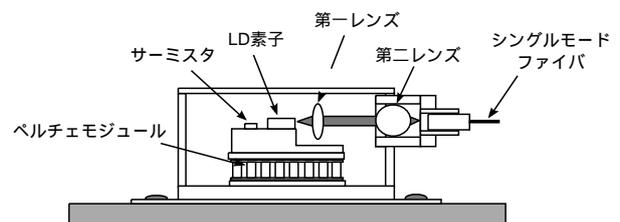


図1 LDMの断面模式図 (1480 nm LD モジュールの構成図)
Structure of 1480 nm LD module

* 環境・エネルギー研究所 部品・実装技術開発部

² 軽金属カンパニー アルミ加工製品部

³ メタル総合研究所 メタル加工品開発センター

⁴ エレクトロニクス・コンポーネント事業部 サーマル製品部 技術課

⁵ ファイナルフォトニクス研究所 光線路開発部

⁶ 設備部 生産技術開発センター ロボット開発室

2. ファイバースペクトル増幅器の発熱特性

これまでに述べたように、ファイバースペクトル増幅器の主たる発熱源は、励起用光源として使用されるLDM（レーザーダイオードモジュール）である。図1にLDMの断面模式図³⁾を示すが、発光素子であるLD（レーザーダイオード）チップは、ペルチエモジュール（熱電素子モジュール）によって常に25になるよう温度調節されている。このために、例えば光出力250 mWのLDMの場合、発光素子部分であるLDチップからの発熱量は2～3 W程度であるが、これに温度制御のためにペルチエモジュールが消費する電力が加わるため、最終的なLDM全体としての消費電力、あるいは発熱量はLDチップの発熱量よりもはるかに大きくなる。

また、LDMの熱源としての一つの大きな特徴は、図2に模式的に示すようにLDM光出力が一定であっても熱出力は必ずしも一定ではなく、ケース（パッケージ）温度によって大きく変化することである。LDMパッケージの温度（あるいは雰囲気温度）が高い場合にはLDチップとの温度差が大きくなり、熱電モジュールの駆動電力が増すためLDMとしての発熱量は増大する。パッケージ温度が高い場合、ときにはLDM全体の発熱量がLDチップの発熱量の数倍に達することがある。

図3にLDMとファイバースペクトル増幅器の温度分布の模式図を示す。ヒートシンクの放熱性能が悪く、LDMケースの温度が高くなってしまえば、より一層LDMからの発熱量が増すという悪循環に陥る。なおLDMケース温度が一定値を超えてしまうと、

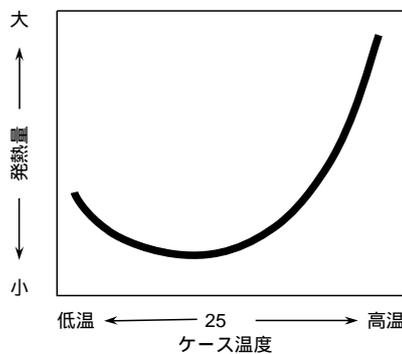


図2 LDM発熱量の周囲温度による変化の模式図
Schematic LD module heat generation for ambient temperature

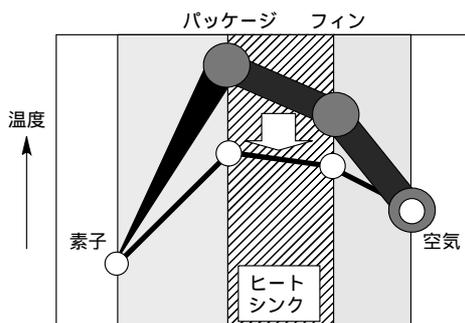


図3 LDチップから空気までの温度と熱密度の模式図
Temperature and heat density profile from LD chip through HP-HS to the air

熱電素子によるLDチップの温度コントロールが不可能となり、LDMとしての安定した発光性能を維持できなくなる。それに対して熱抵抗が小さいヒートシンクを使用した場合には、LDMのケース温度をより低く押さえられるためにペルチエモジュールの消費電力が小さくなり、結果としてLDMの全消費電力、すなわちエネルギーロスが小さくなることになる。

また熱抵抗の小さなヒートシンクを使用することによって、LDチップと雰囲気温度との間の温度差が大きい場合にもペルチエモジュールの発熱量を相対的に小さくすることができる。そのため雰囲気温度が上昇した場合にもLDMを安定的に駆動させることができる。

すなわち、高性能のヒートシンクを使用することの利点として、次の三点が挙げられる。

- 1) LDMの消費電力を低下させ、ひいてはファイバースペクトルとしての低消費電力化を実現できる。
- 2) 周囲温度が高い場合にもファイバースペクトルとして動作させることができる。
- 3) ゲインブロックとしての寸法を小型化することができる。

3. HP-HSの構造と特徴

熱対策は、サーバ用CPUやパワーエレクトロニクスなどの分野では従来から重要な設計上の課題となっており、放熱設計の最適化に努力が払われてきた。これら高発熱化する電子・電気機器に対応する放熱冷却技術のキーとなる部品の一つとして、近年ヒートパイプが脚光を浴びるようになってきた。簡単に述べればヒートパイプは熱を空間的に離れた場所に速やかに輸送するための部品である。

ヒートパイプが特に効果的な役割りを果たすのは、発熱源の近傍で放熱のためのフィンを設置する空間が十分に確保できず、放熱部まで長距離の熱輸送を行う必要がある場合、あるいは発熱密度が大きく速やかに熱を拡散させる必要がある場合、などである。当社ではこれまでもノートパソコンのCPU、情報通信機器用LSI向けなどに、ヒートパイプを使用したヒートシンク（ヒートパイプ・ヒートシンク）を開発してきた⁴⁾。

写真1、2にファイバースペクトル増幅器用ヒートパイプ・ヒ-

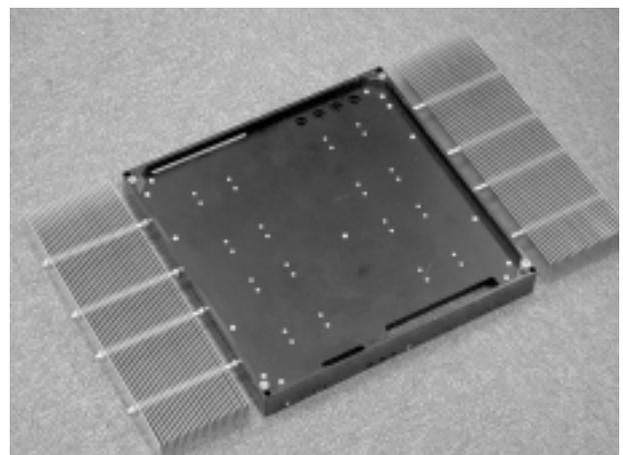


写真1 ヒートパイプ・ヒートシンクの写真の一例
A photograph of HP-HS for fiber Raman amplifier

トシンク (HP-HS) の一例を示す。これはLDM 8個及び6個を使用するゲインブロック用のベースプレート一体型ヒートシンクである。主たる発熱源である各LDM一個に対して1本のヒートパイプ、すなわちそれぞれ8本及び6本のヒートパイプを使用している。ヒートパイプはアルミニウム製ベースプレートに埋め込まれ、LDMがヒートパイプをまたぐように配置されている。ヒートパイプとベースプレートとははんだによって接合されており、十分な熱接触が実現されている。

ヒートパイプとしては一般的な銅 - 水系のヒートパイプを使用している。銅 - 水系のヒートパイプは作動液として水を使用しているため高い長期信頼性を有しており、同時に熱輸送量が大きいという特徴がある。また炭化水素や塩素系有機化合物と異なり、引火性や地球環境への負荷といった問題もない。

ヒートパイプの先端部にはアルミニウム製の圧入フィンが設置され、SUSリングによって固定されている。またベースプレートの背面にはコルゲートフィンがブレージングによって設置されている。

今回開発したファイバーラマン増幅器用ヒートパイプ - ヒートシンクの最大の特徴は、図4のようにLDMからの熱をヒートパイプによって輸送し、主として圧入フィンから放熱する構造とすることによって、高発熱量対応でありながら小型化を図ったことである。また圧入フィンとコルゲートフィンの2種類

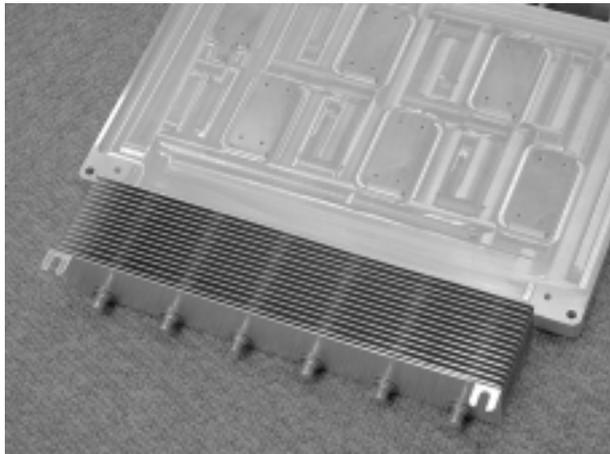


写真2 ヒートパイプ - ヒートシンクの写真の一例
A photograph of HP-HS for fiber Raman amplifier

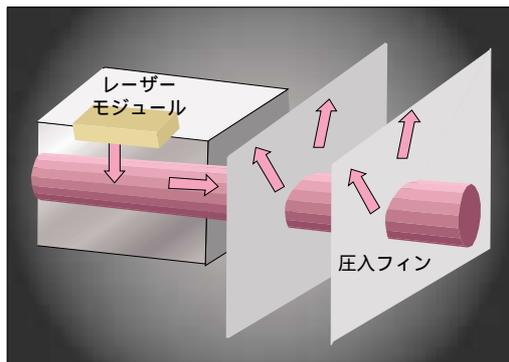


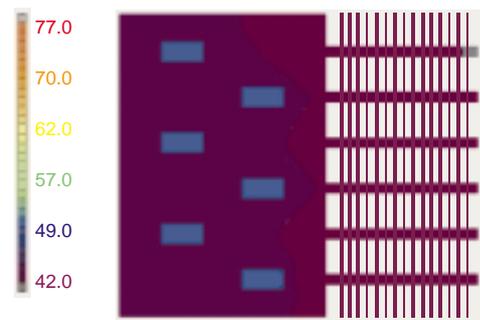
図4 ヒートパイプ - ヒートシンクにおける放熱の模式図
Schematic heat flows and heat radiation in HP-HS

のフィンを併用する構造とすることによって、より一層の高い放熱特性を実現している。

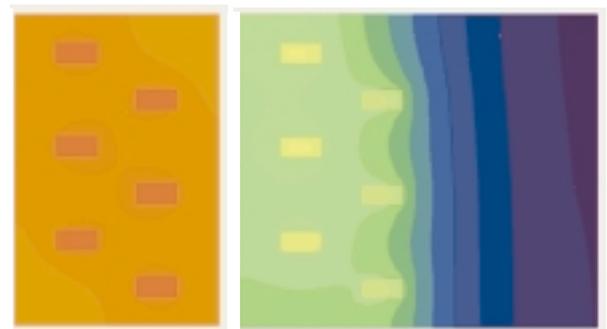
また、ラマン増幅器用ヒートパイプ - ヒートシンクのもう一つの特徴は、ヒートパイプをアルミブロックに埋め込む構造としたことによって、LDMからの熱をアルミベース板全体に速やかに拡散させることである。特にLDMの場合、底面寸法が30 mm × 12.7 mmと小面積であり、仮に発熱量が十数Wとすると発熱密度は数W/cm²に達するため、LDMパッケージの温度上昇を抑えるためには速やかに熱を拡散する必要がある。

4. 熱シミュレーション

図5に有限要素法ソフトウェアによって熱シミュレーションを行った結果を示す。また表1には熱解析によって得られたLDM直下のベースプレートの温度上昇を示す。LDMの発熱量としては一台あたり15 Wを想定しており、これは雰囲気温度が高くLDM発熱量の大きくなる、最も厳しい条件を想定している。



ヒートパイプ-ヒートシンク



比較例1

比較例2

図5 シミュレーションにより求めた温度分布 (発熱量 15 W × 6, 周囲温度 25)
Simulated contour of temperature on heatsinks

表1 シミュレーションにより求めた最高温度 (発熱量 15 W × 6, 周囲温度 25)
Maximum temperature on heatsinks (by simulation)

形状	温度上昇値
HP - HS	25.0
比較例1	52.7
比較例2	32.7

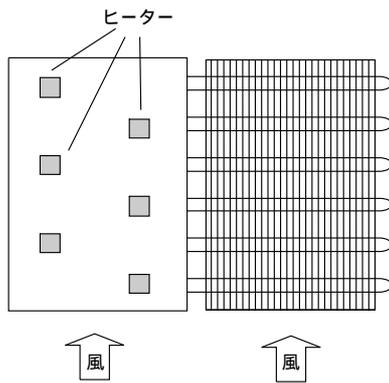


図6 熱性能評価方法
Schematic apparatus of test system

比較例として示しているのは、比較例1としてベース板だけのもの（圧入フィンとヒートパイプがないもの）、比較例2としてベース板の面積を増してヒートパイプ及び圧入フィンに置き換えたもの、の二種類である。

HP-HSの熱シミュレーション結果を見ると、LDMからの熱が十分に拡散すると同時に十分にフィンから放熱されているために、LDM直下のヒートシンクの温度上昇が最小限に抑えられている。これに対してヒートパイプを使用しない比較品1では放熱が十分でないために、LDM直下で温度がかなり上昇していることが分かる。またヒートパイプを使用せずにアルミニウムベース板の面積を単に増したただけのものでも、ヒートシンク周辺部にまでは十分に熱が拡散していないため、LDM直下の温度が高めになり、その一方でヒートシンク端部の温度が低くなっている。

一般的にヒートパイプを使用しない単純なアルミニウム製ヒートシンクでは、LDMのように発熱密度が大きい熱源に適用した場合には、熱源近傍の温度が下がらず逆にヒートシンク周辺部には十分に熱が伝わらないために温度が低くなるという、温度むらが生じやすい。温度の低い周辺部では空気との温度差が小さくなり、放熱効率が大きく低下する。

これに対してヒートパイプ・ヒートシンクを使用した場合には、ベースプレートの温度を均一にして熱源直下の温度が高くなることを防ぎ、素子の温度上昇を最小限に抑制することができる。また、結果としてコルゲートフィン全体から均一に空気へ放熱されるようになるために放熱効率が増す。特に放熱部に圧入フィンを使用することによって、コンパクトな形状ながら十分な放熱面積が確保されている。

熱シミュレーションの結果から、ヒートパイプが熱の拡散に大きな寄与をしていること、また圧入フィンが放熱に大きく寄与していることが、明確に示されている。

5. 熱性能評価結果

図6に示す模式図のようにLDM設置位置6カ所に、LDM底板を介して発熱体（ヒーター）を設置し、ヒートシンクに設けた溝に設置した熱電対によって、熱源直下の温度を測定した。試験体は縦型ダクト中に配置し、ダクト上端部に設けたファンによって吸引することによって強制空冷している。

図7に風速約0.74 m/sの場合について、入力熱量と入力点直

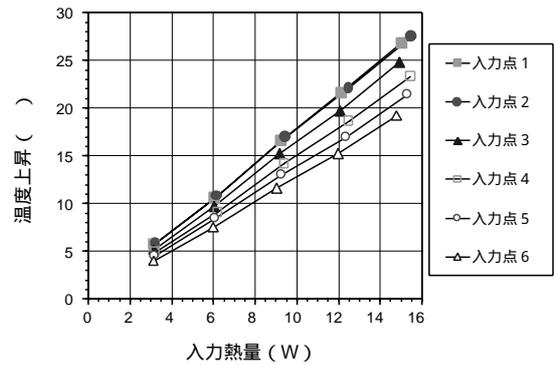


図7 熱性能評価結果
Experimental results of HP-HS temperature vs. input heat

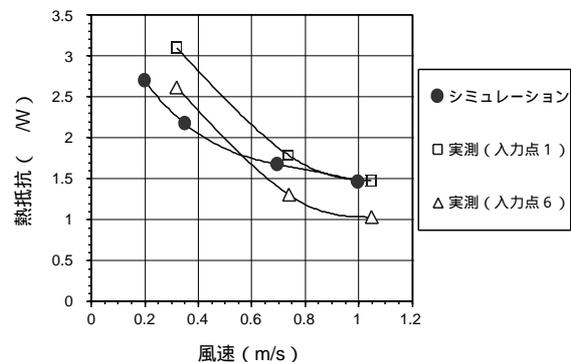


図8 実測とシミュレーションとの比較
Comparison of experimental results and simulated results

下温度上昇量との関係を示す。15 W入力時の温度上昇は約13 ~ 25 となっており、おおむね風下側（上側）の入力点で温度上昇が大きくなっている。これは空気が上昇するにつれて次第に暖まってゆき、フィンから空気への熱伝達量が減少していくためであると考えられる。温度上昇値と入力熱量（75 W）とから熱抵抗を求めると約0.5 °C/Wとなり、パッシブ型ヒートシンクとして優れた性能を有していることが確認できた。

図8に事前の熱シミュレーションによって求めた温度上昇量計算値と、実験によって求めた温度上昇量計算値とを示す。計算値と実測値とはおおむね近い値となっており、今回開発を行ったヒートパイプ・ヒートシンクが、熱性能の設計目標を実現していることが確認できた。

6. 信頼性

今回開発したヒートパイプ・ヒートシンクで使用しているヒートパイプに関しては、促進試験によって50年以上の高い長期信頼性を有していることを確認している。またヒートパイプ・ヒートシンクとしても、100サイクルの熱サイクル試験において外観、熱性能ともに変化がないことを確認している。

7. おわりに

ファイバーラマン増幅器用のヒートパイプ・ヒートシンクの開発を行った。アルミニウム製ベースプレートに埋め込んだヒートパイプを介して圧入フィンを設置し、更にコルゲートフィ

ンを併用することによって、高い放熱性能を有し、同時に薄型化を図ったヒートパイプ・ヒートシンクを実現することができた。

熱性能の評価を行い、事前の熱シミュレーションによる予測とほぼ一致した放熱性能を有していることを確認した。また所期の長期信頼性を有していることを確認した。

ファイバーラマン増幅器に使用される励起レーザーは、今後ますます高出力化が進むと予測されているため、より一層放熱設計が重要になってゆくと考えられる。特にバックボーンネットワークの高速化に対応して、中継局における増幅器設置密度増大への要求が高まってくるが、高密度実装に対応した高性能の冷却部品の開発を通じて、このような大容量ネットワークの発展に寄与することができれば幸いである。

参考文献

- 1) 粕川昭彦 他:光学, Vol.29, No.3 (2000), 151
- 2) 並木周 他:O Plus E Vol.21, No.8 (1999), 990
- 3) 木村俊雄 他:古河電工時報, 105 (2000), 19
- 4) 鈴木雄一 他:古河電工時報, 106 (2000), 1