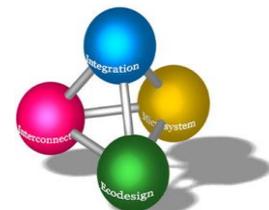




MemsONE 技術交流会 解析事例紹介

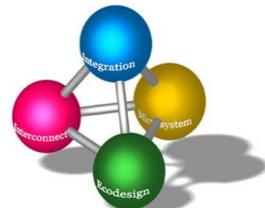
東京大学 実装工学分野研究室
奥村 拳





事例紹介

1. 解析の背景
高出力半導体レーザの高放熱構造
2. 熱伝導解析
解析モデルの概要
3. チップサイズの熱抵抗への影響
4. 接合材料の熱抵抗への影響
5. ヒートシンク材料の熱抵抗への影響

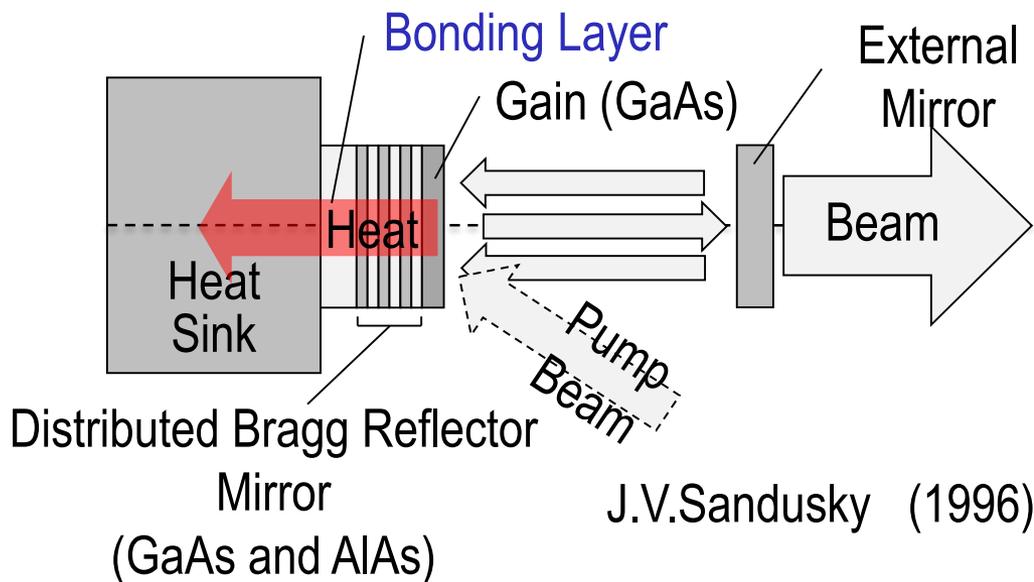




高出力半導体レーザーの高放熱構造

レーザーディスプレイ、センシング（蛍光計測、光スペクトルスコピー）、光通信、データストレージ、材料加工などの分野で高出力半導体レーザーが求められている。

Vertical-External Cavity Surface-Emitting Laser (VECSEL)



Coherent社

- 活性層の温度上昇はレーザー光の特性に強く影響する。
量子効率の低下、閾値電流、発振波長シフト
→ 発生した熱をいかに効率よく半導体素子から放熱させ、素子の温度上昇を防止するかが極めて重要である。



従来接合技術

- AuSnはんだによる接合

高温熱処理(200°C以上)

[A. Sirbu, 2011], [Hastie, J.E, 2003]



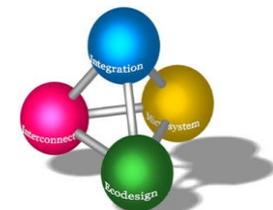
- AuSnはんだが熱障壁に

- 加熱による内部応力発生

→光素子の性能を低下させる。

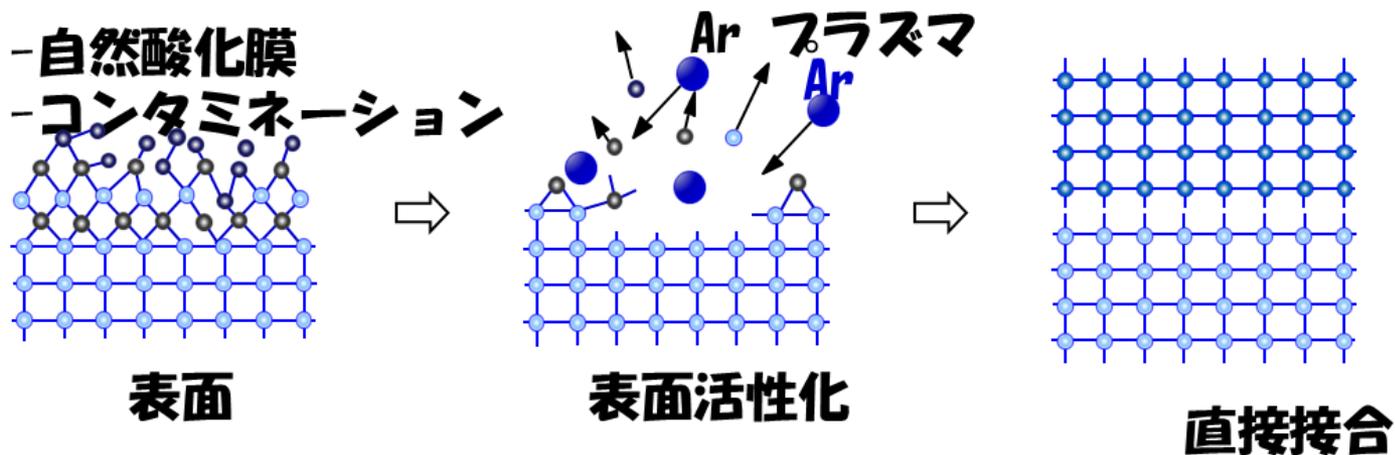


表面活性化接合技術を用いたGaAs/SiC構造の実現



表面活性化接合の原理

●表面活性化接合(SAB: Surface-activated bonding)

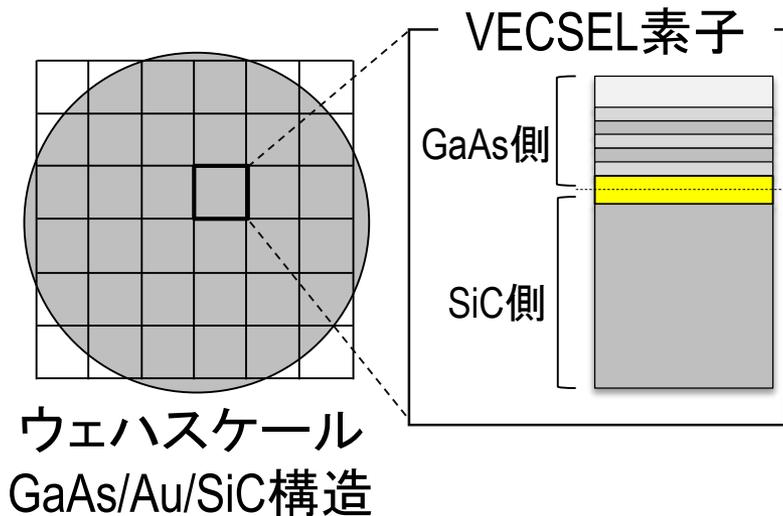


●表面活性化接合は表面の酸化物や有機吸着層をイオンビームやプラズマなどにより除去し、表面エネルギーの高い活性な表面の凝着現象を利用することで強固な接合を実現する接合技術。

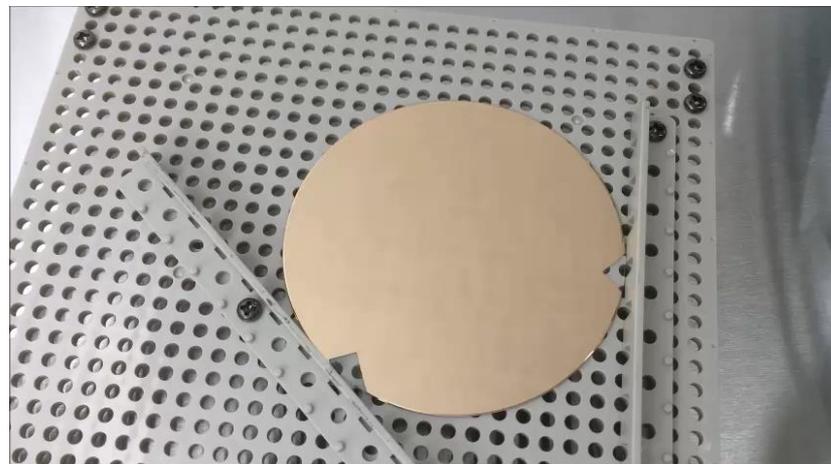
- 熱膨張係数が大きく異なる材料同士を接合することが可能
- はんだ接合(200~300°Cの加熱)による素子の性能劣化を回避
- チップボンディングだけでなくウェハレベル接合が可能



GaAs/SiC構造をウェハレベルで実現



常温・低荷重・大気中

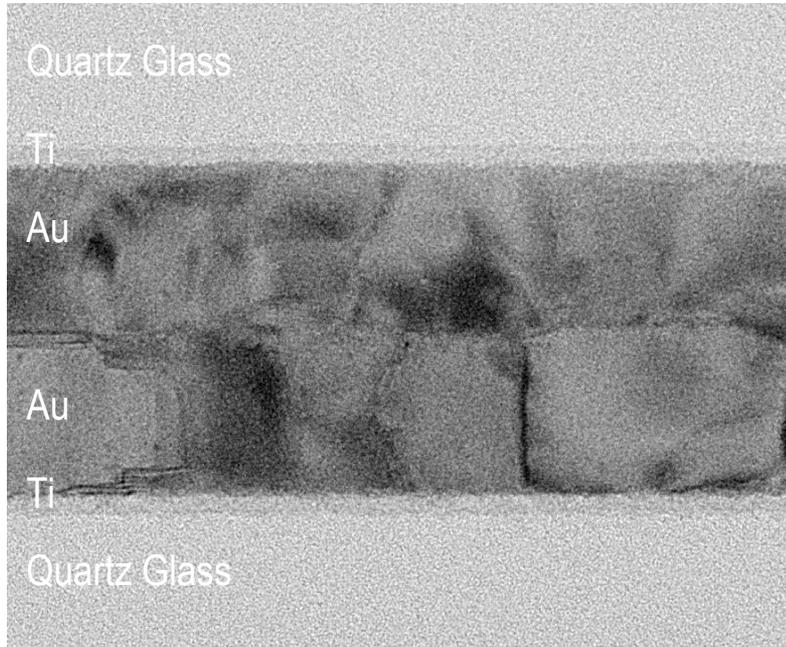


片面にAu:30nmを成膜したウェハ同士を
大気中で常温で貼り合わせる実験

- 任意の金属薄膜をウェハ表面に成膜することで、金属中間層を介した異種材料同士の常温接合が可能となる。
- Auは耐酸化材・高熱伝導率という点で接合材料として最適。

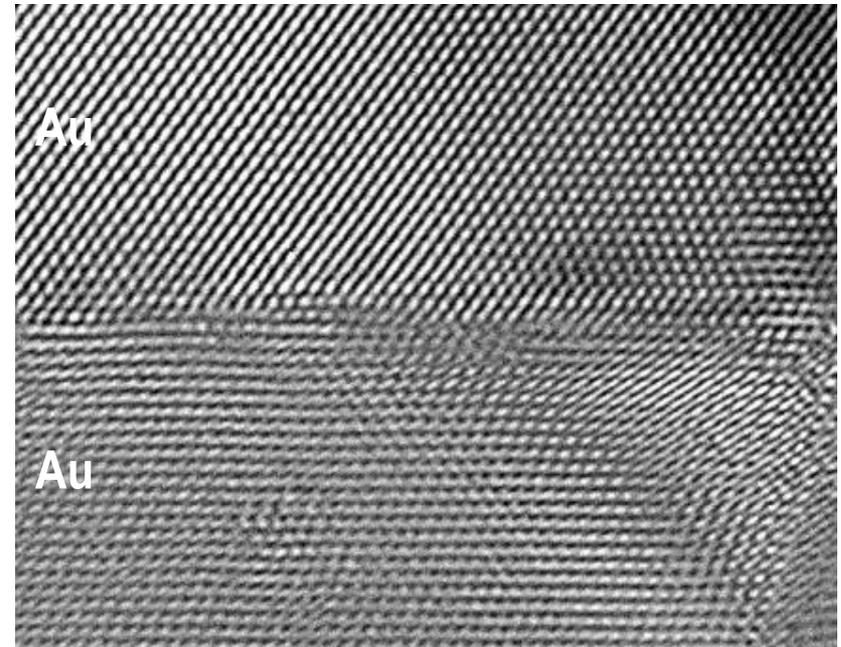


Au薄膜を介した常温ウェハ接合技術を応用



透過型電子顕微鏡像

50 nm



5 nm

- 原子レベルでの接合が確認できる。
- ダイシェア試験によるせん断強度は70MPa以上。



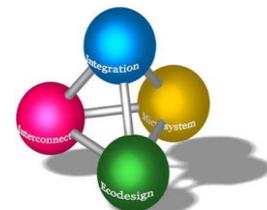
有限要素法解析

- 接合材料・素子の形状・ヒートシンク材料により、半導体素子全体の熱抵抗がどの程度影響を受けるのかを見積るための足掛かりとなる。



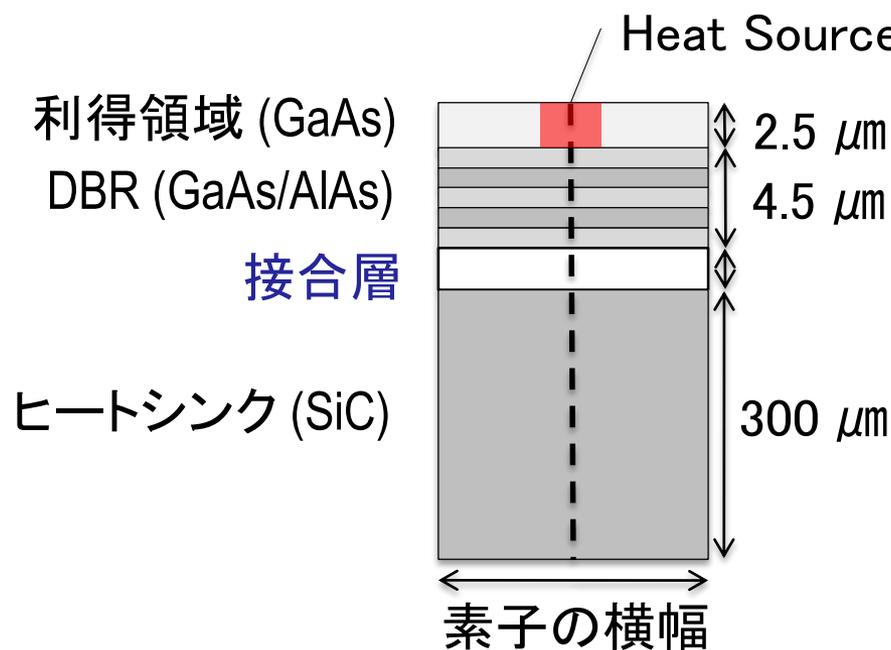
MemsONE

MEMS用設計・解析支援システム





有限要素法によるVECSEL素子の熱伝導解析



各材料の熱伝導率

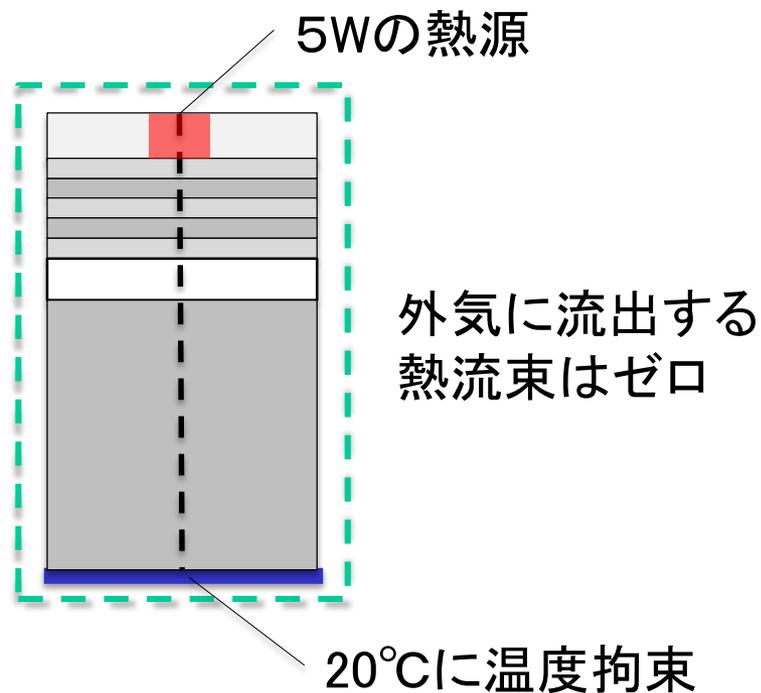
Material	Thermal Conductivity (W/cm·K)
GaAs	0.55
GaAs/AlAs	0.61
SiC	4.90
AuSn	0.57
AgSn	0.33
Au	3.17

VECSEL素子の解析モデル (Not to scale)

$$R_{th} = \Delta T / P$$

発熱量がP[W]のとき、活性層の温度が ΔT [K]だけ上昇したとすると、このときレーザ素子の熱抵抗 R_{th} [K/W]は上式のように表される。

拘束条件の設定



- $\phi 200\mu\text{m} \times 2.5\mu\text{m}$ の領域に5Wの熱源を設置する。
- 内部熱伝導が支配的なため、外部との熱交換は無視
- ヒートシンク底部は外ペルチェ素子に取り付けられると想定し20°C。



熱伝導解析に用いる物性値

MemsONEメイン

ファイル DB ツール ヘルプ

プロセス解析 / 機構解析

プロセス解析 機構解析

機構解析

- プリ
 - モデル作成・モデル選択
 - 解析機能の選択
 - 解析条件の設定
- 実行
 - 解析機能の実行
- ポスト
 - 解析結果の表示

入力状況

モデルファイル名: model20140723_10000nm.cprt

解析機能: 熱伝導解析

解析条件名: same

解析結果フォルダ名:

メッセージ

MemsCADを起動してファイルをオープンします。
MemsCAD画面が表示されるまでお待ちください。

解析条件の設定

解析条件データを設定してください。

材料物性データ | 境界条件 & その他条件データ | 数値計算制御パラメータ

<材料物性データ>

材質番号	材料名	材料名 (別名)
1	gain	
2	dbp	
3	bond	
4	sink	

■ 材料名: gain 材料DBの参照

密度: 5.32E-21 温度

比熱: 3.30E+20 温度

熱伝導率: X Y Z 温度

5.50E+13 5.50E+13 5.50E+13

材質領域の主軸方向, その垂直方向

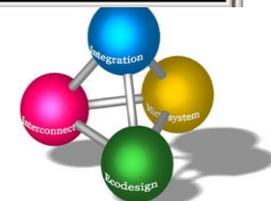
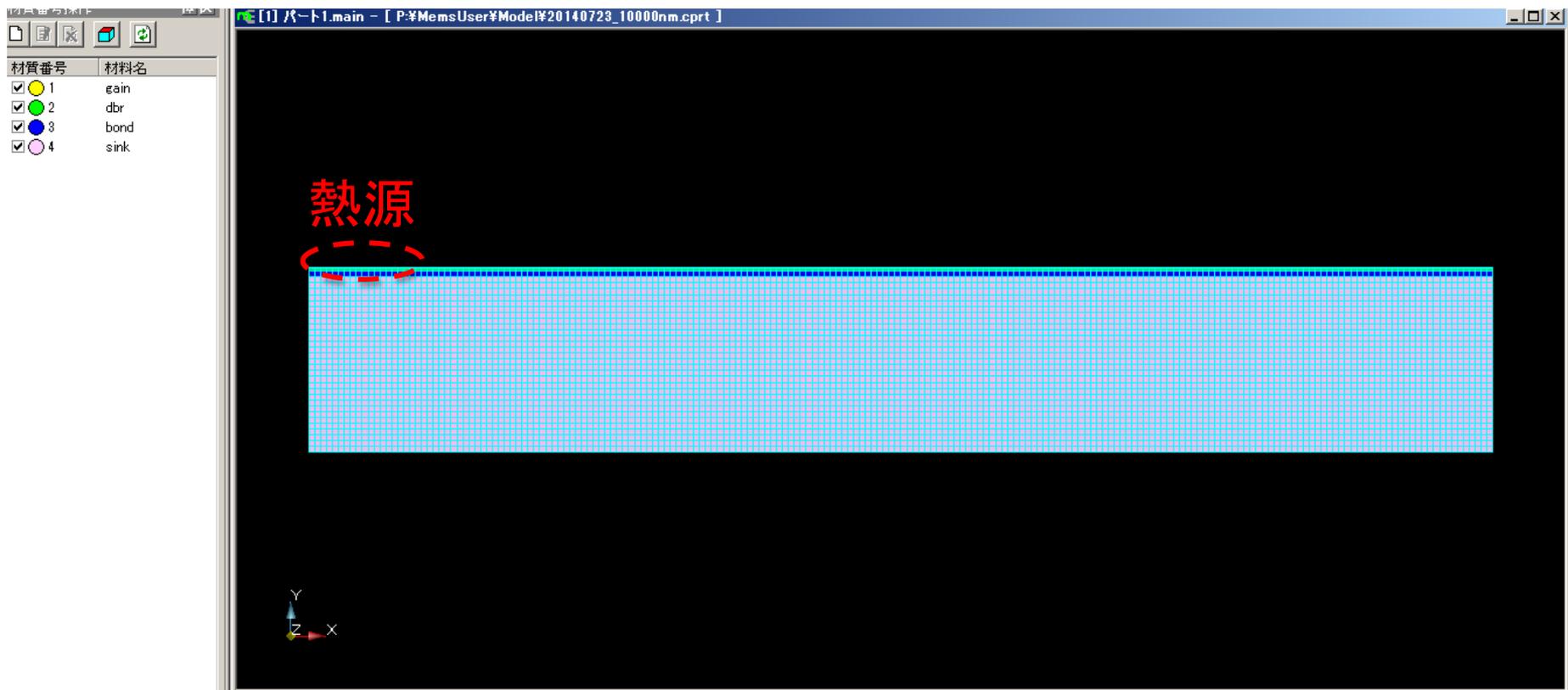
2次元化タイプ: 材料物性のX軸, Y軸

上書き保存

保存終了 キャンセル終了



実際の解析モデル





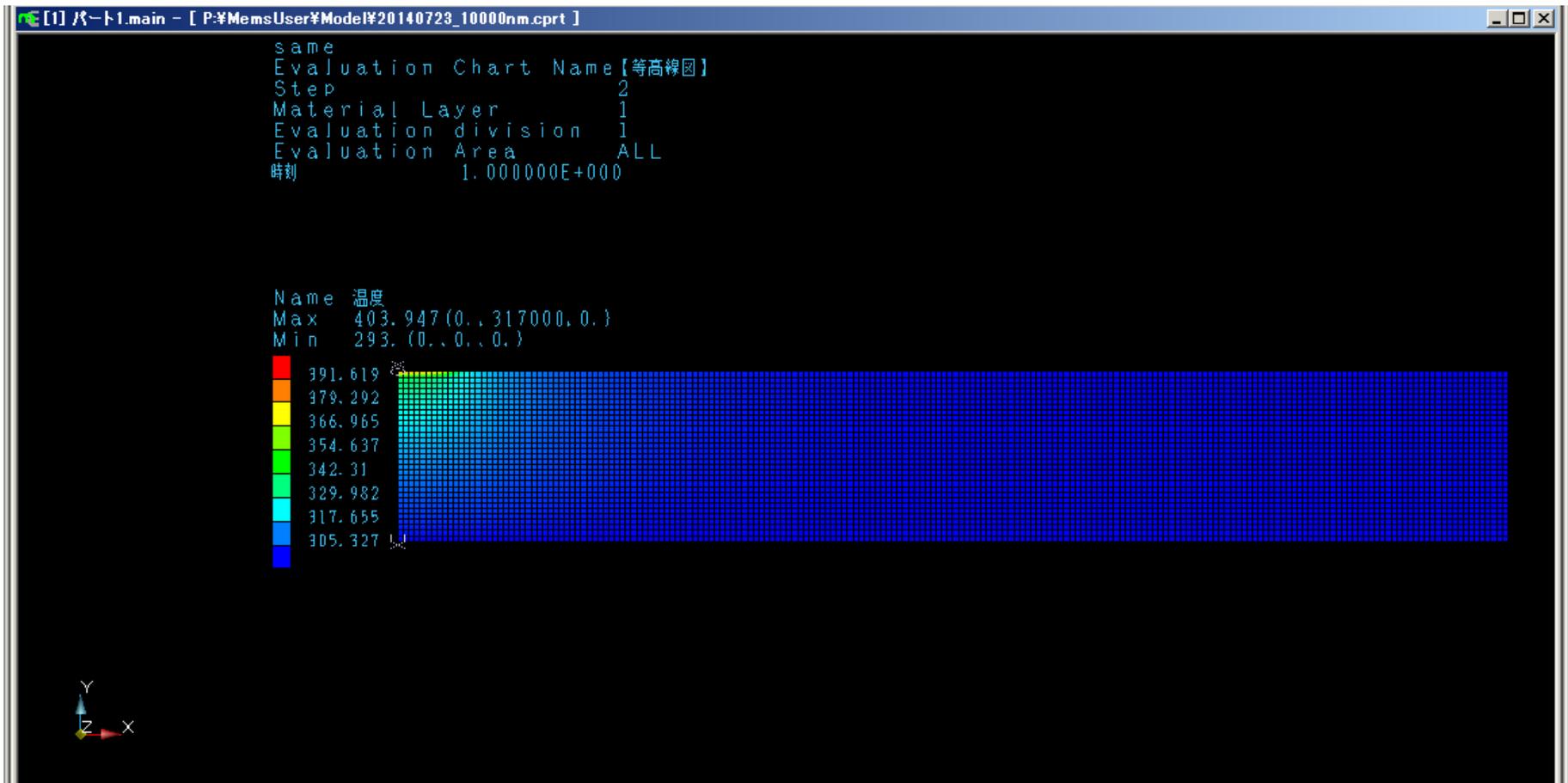
メッシュサイズの影響

```
パート1.main - [ P:\MemsUser\Mode\20140723_1000nm.cprt ]
示 ツール AP 機構解析プレ 機構解析ポスト シミュレーション連携 UTIL
C:\Windows\system32\cmd.exe - P:\MEMSSOL\LD\mechanics2.bat "P:\MemsUser\Result..."
#####
##### mechanics.bat by MHIR #####
##### changing directory #####
C:\MEMS-ONE\MZPlatform\2.0>cd /d P:\MemsUser\Result\
##### converting input file (ConvertInput) #####
number of grid : 6834
number of element : 6600
##### starting analysis #####
2
License Check ... OK !
**** Read Structural Input Data
**** Heat Transfer Analysis
#### STEP NO.= 1
#### INCREMENT NO.= 1/ 1
++++ ITERATION NO.= 1, 2, CONVERGED!!!!
```

- メッシュを細かく切る→精度は増すが処理に時間が掛かる。
 - メッシュを大きく切る→精度が落ちるが処理は早い。
- ☆PCの性能と求める精度に応じて自分で最適化する必要がある

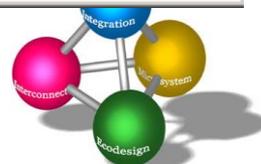
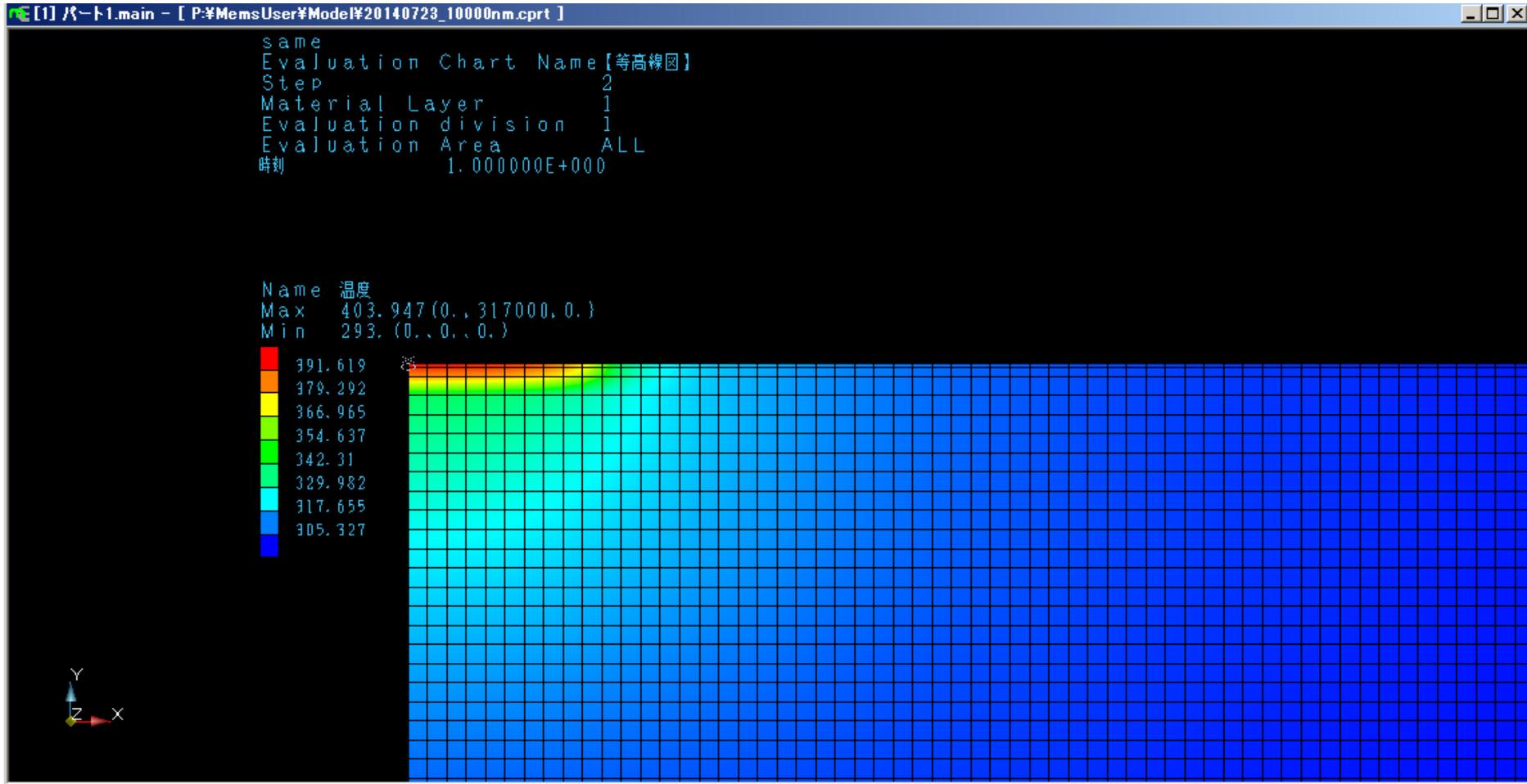


温度分布の様子



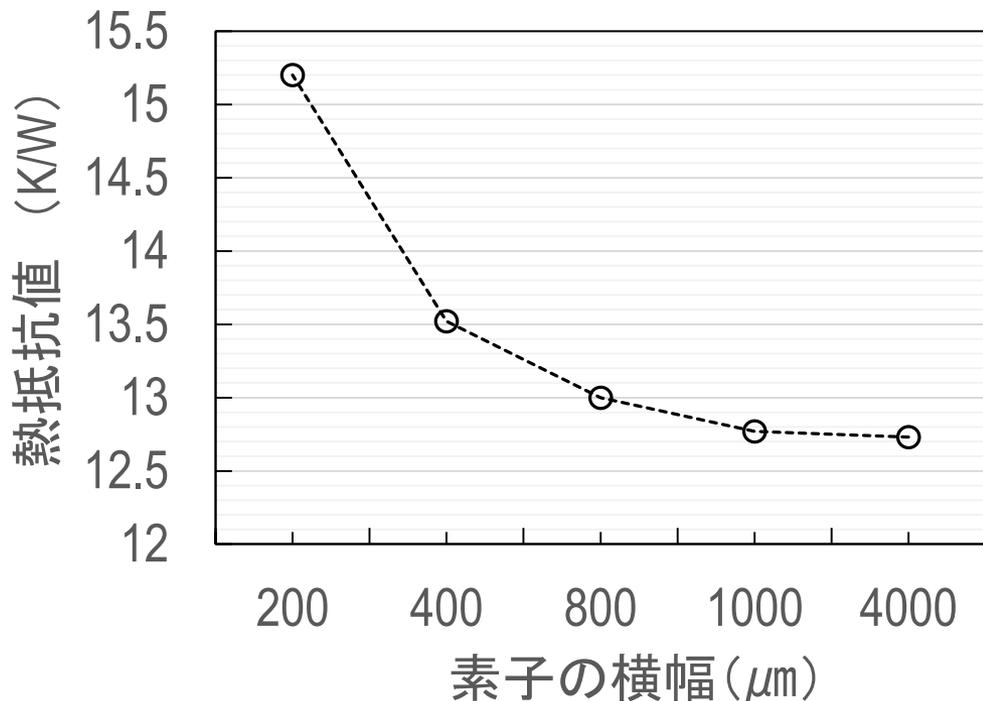


温度分布の様子





チップサイズの熱抵抗への影響

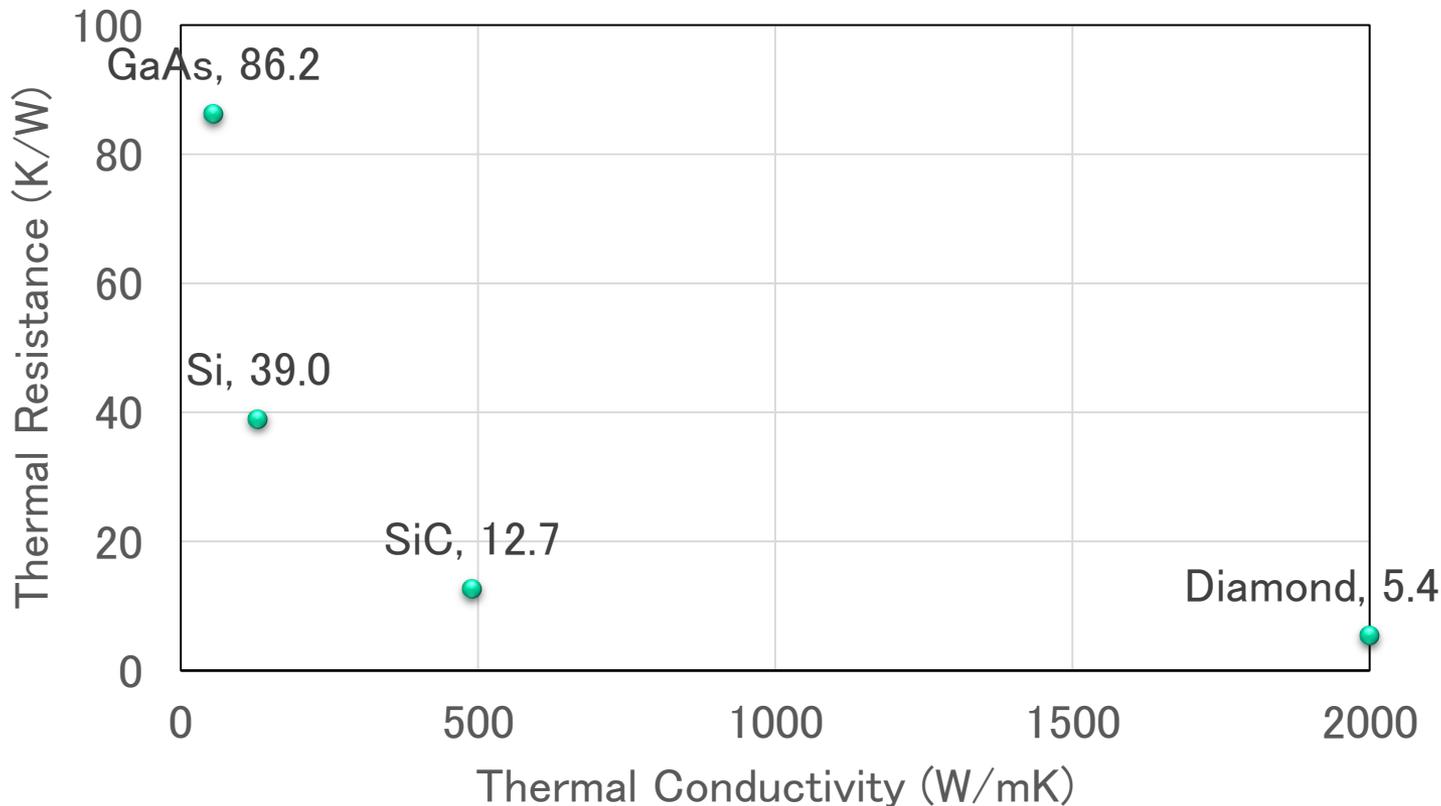


- $\phi 200\mu\text{m}$ の熱源 (5W) がある場合、素子の横幅はグラフのように熱抵抗値に影響を与える。
- 横幅が $1000\mu\text{m}$ 程度あれば十分に放熱特性上効率のよい構造となる。

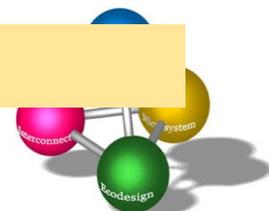




ヒートシンク材料の熱抵抗への影響

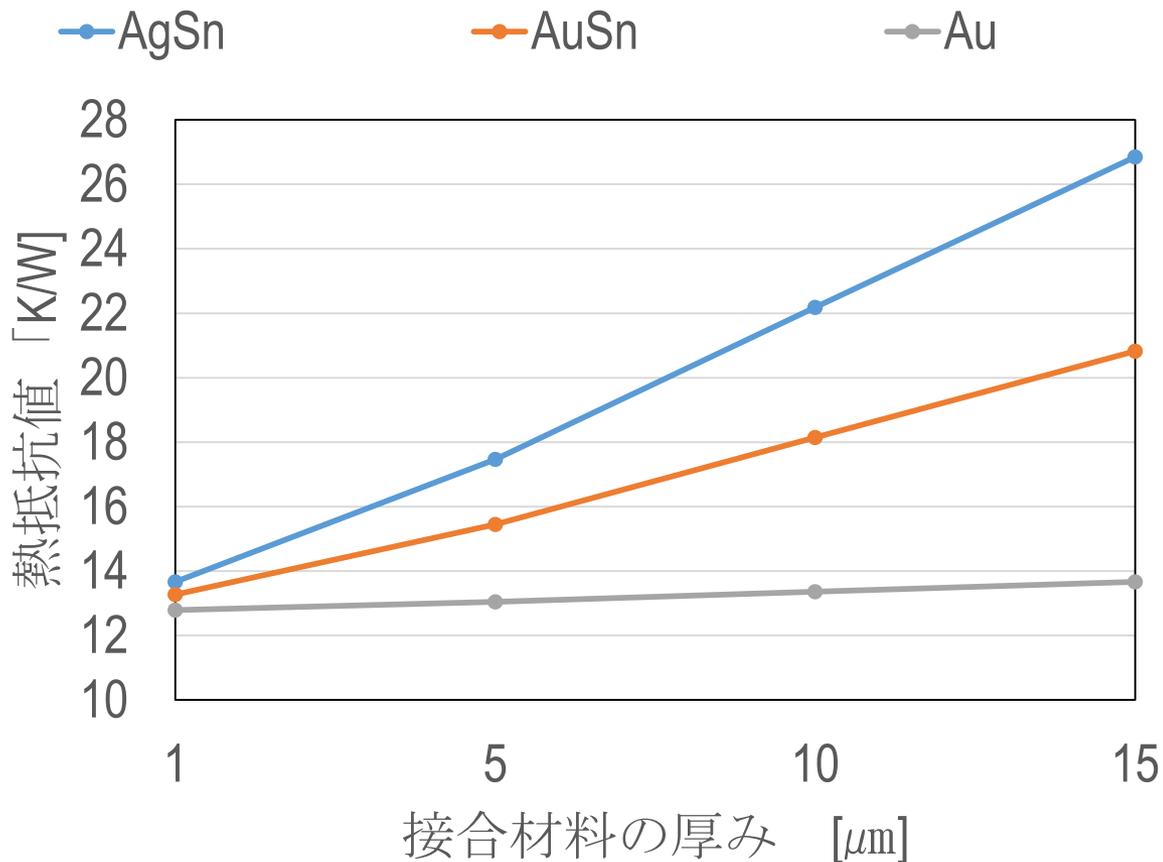


- SiC程度の熱伝導率(490W/mK)で十分な放熱効果を確保できる。





ヒートシンク材料の熱抵抗への影響



- 接合材料が厚くなるほど素子全体の熱抵抗値は上昇する。
- 厚み1μm以下では材料による熱抵抗値の差は小さい。



まとめ

- 高出力半導体レーザ (VECSEL) 素子の高放熱構造を実現する研究
- 素子のサイズ・接合材料・ヒートシンク材料の放熱構造への影響を有限要素法解析で検証
→ 入力する物性値の検討は慎重に。
- MemsONEを用いることで具体的な実験・計測をする前段階の検証が可能。

