

# 各種顕微鏡画像を用いたデジタル画像相関法 による微細電子材料のひずみ計測結果の比較

鹿児島大学工学部機械工学科  
池田研究室 B4 近藤 耀平

# 発表の流れ

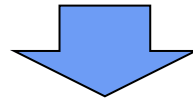
- 研究背景・目的
- ひずみ計測理論
- 実験方法・条件
- 熱ひずみ分布結果の比較・評価
- 結論

# 発表の流れ

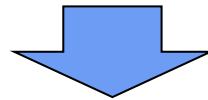
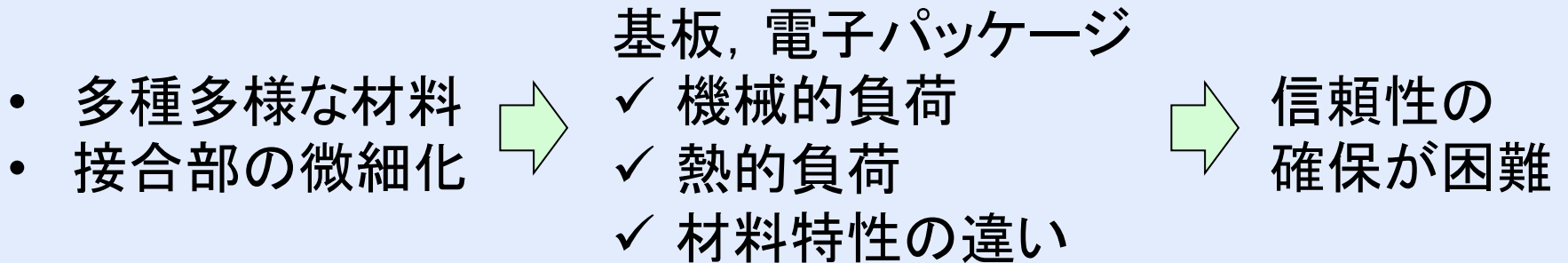
- 研究背景・目的
- ひずみ計測理論
- 実験方法・条件
- 熱ひずみ分布結果の比較
- 結論

# 研究背景

近年、電子機器類の小型化・高集積化を実現している要因の一つとして、構成部品である電子部品の微細化が挙げられる。



## 問題点



- 微細構造物の接合部周辺を評価する手法の精度向上
- SEMによる超微小領域のひずみ測定の開発が必要

# 研究背景

電子実装部の信頼性を確保するには接合部周辺のひずみ分布評価が有効である。

## デジタル画像相関法 (Digital Image Correlation Method: DICM)

→ 対象物表面の観察画像を用いた変位・ひずみ分布計測手法  
観察対象の小型化に対応でき、高分解能なひずみ測定もできる。

SEM観察

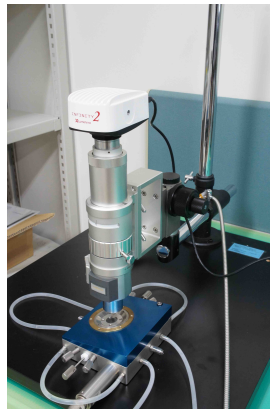
○高分解能



×熱ドリフト

×走査挙動による  
画像のゆがみ

光学顕微鏡



レーザー顕微鏡



SEM



低

高 観察倍率

# 研究目的

微細電子材料内の  
はんだ接合部周辺の熱による変形過程

走査型電子顕微鏡  
(SEM)の画像から  
得られたひずみ分布

比較

レーザー走査型顕微鏡  
と光学顕微鏡の画像から  
得られたひずみ分布

(従来の研究により解析精度が  
十分に確保されている)

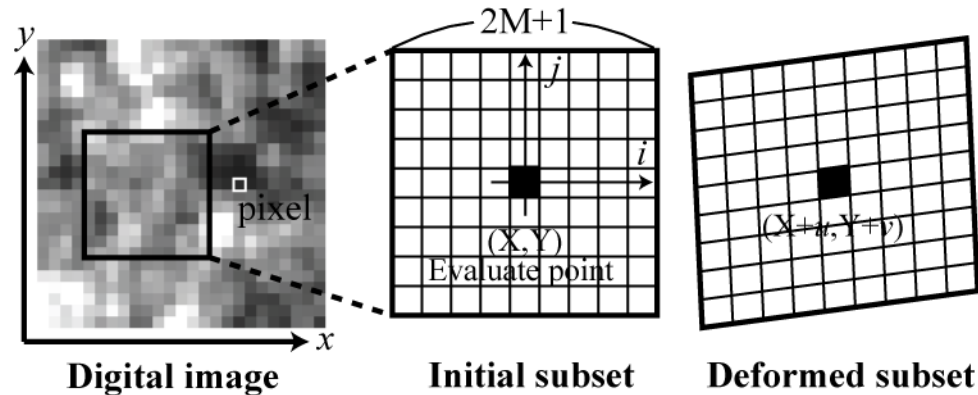
各顕微鏡画像用いてひずみ分布を算出し、  
SEM-DICMによる熱負荷時のひずみ計測の解析精度を比較、評価

# 発表の流れ

- 研究背景・目的
- ひずみ計測理論
- 実験方法・条件
- 熱ひずみ分布結果の比較
- 考察

# デジタル画像相関法(DICM)の原理

変形前後の対象物表面の様相をデジタル画像として取り込み、部分領域のパターンを比較することで着視点の変位・ひずみを測定する方法\*



$$C(u,v) = 1 - \frac{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_d(X+i, Y+j) \times I_u(x+i, y+j)}{\sqrt{\left\{ \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_d(X+i, Y+j)^2 \right\} \times \left\{ \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_u(x+i, y+j)^2 \right\}}}$$

$$X = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} i + \frac{\partial u}{\partial y} j$$

$$Y = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} i + \frac{\partial v}{\partial y} j$$

得られた離散点変位から移動最小二乗法により平滑な変位場を求め、微分することで任意の点でのひずみを得ることができる。

\* H.A.Bruck , et al., Experimental Mechanics, 29 , pp. 261 – 267, (1989).



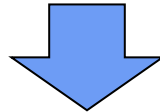
# 発表の流れ

- 研究背景・目的
- ひずみ計測理論
- **実験方法・条件**
- 熱ひずみ分布結果の比較
- 結論

# 実験手順

## 1. 試料の模様付け

DICMを使用するため、試料に模様付けを施した後、加熱装置内に試料を固定



## 2. 加熱実験の実施

昇温速度:  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 保持時間: 10min

- 加熱装置による熱変形過程の測定
- 各顕微鏡画像による試料の模様撮影

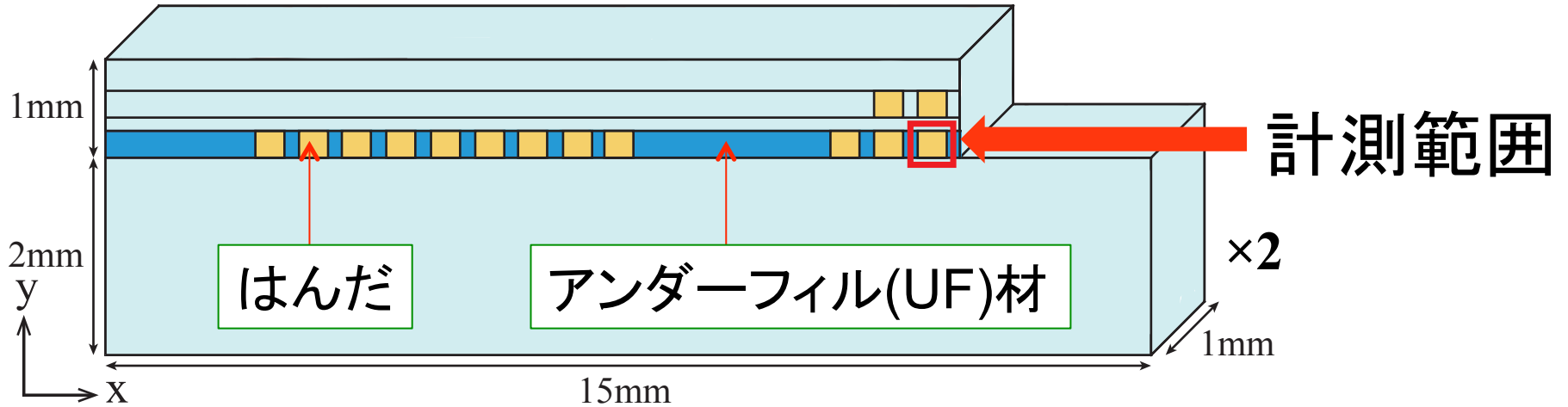


## 3. ひずみの算出

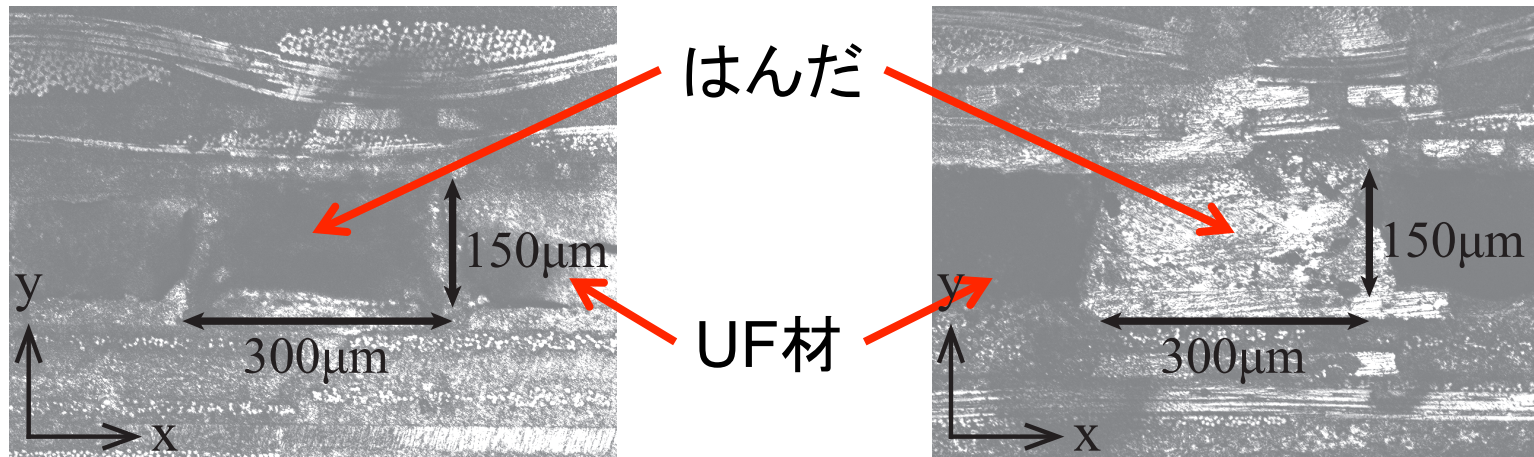
DICM解析によるひずみ分布の算出

# 試験用チップ

本研究で評価対象とする試験用チップ→Apple A4



はんだ接合部周辺の画像



Sample A

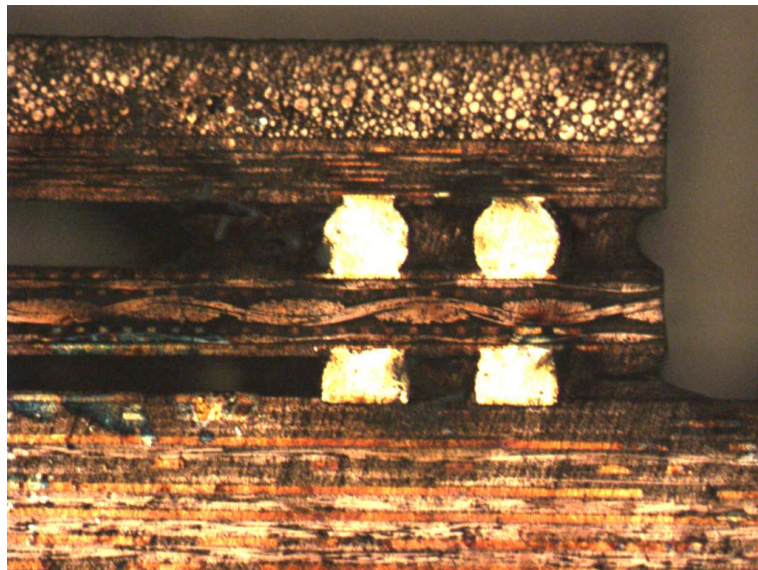
Sample B

# 試料の調整

## Auスパッタ装置



## 水蒸気腐食



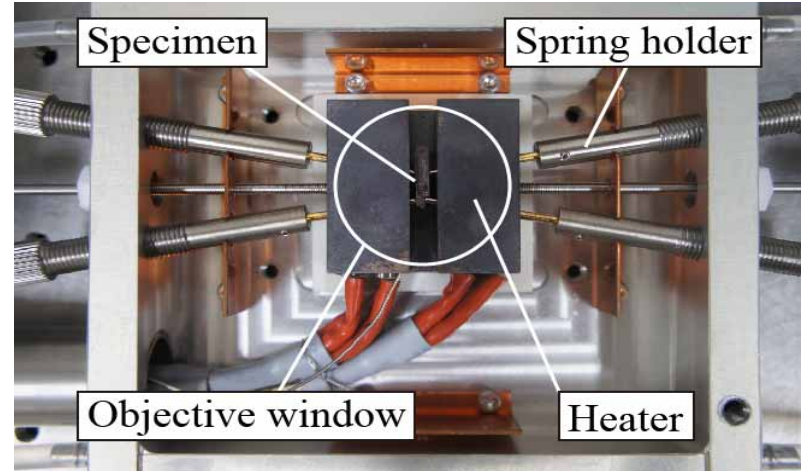
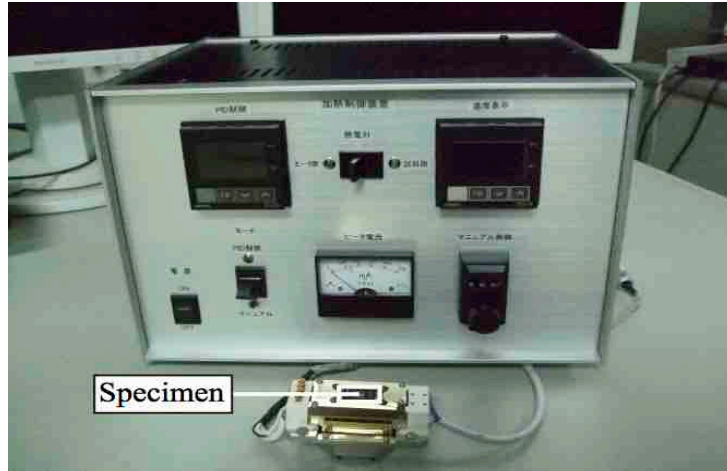
- SEM画像取得時に、チャージアップ防止のため、Auスパッタを施し、約10nmの金を堆積.
  - 95°Cの水蒸気に9時間暴露させ、まだら模様を付加.
- ←Auスパッタ(10nm) + 腐食

# 計測システム

## 加熱装置

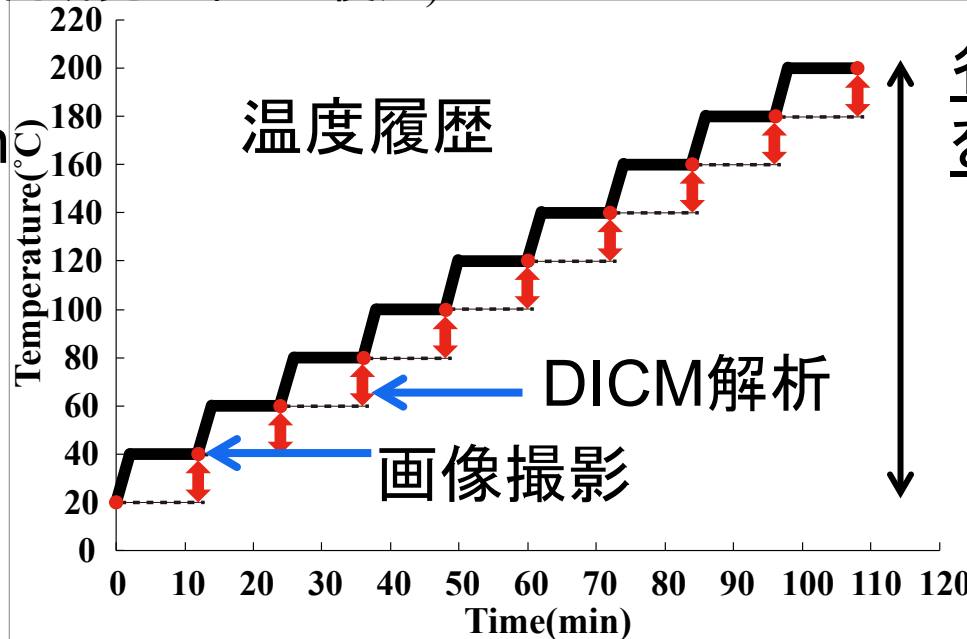
SEM用

レーザー顕微鏡・光学顕微鏡用



(共同研究企業にて使用)

- 昇温速度  
10 °C/min
- 保持時間  
10min



各区間のひずみを  
を足し合わせる

初期温度～200°C  
まで加熱した時の  
熱ひずみ

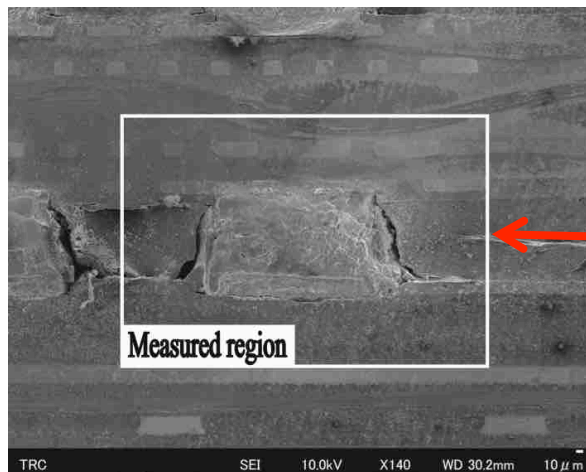
# 計測システム



← 熱電界放射型走査電子顕微鏡

計測条件

- 加速電圧: 10kV
  - 倍率: 140×
  - 画像サイズ: 2560×2048
  - サブセットサイズ: 60pixels
- (共同研究企業にて計測)



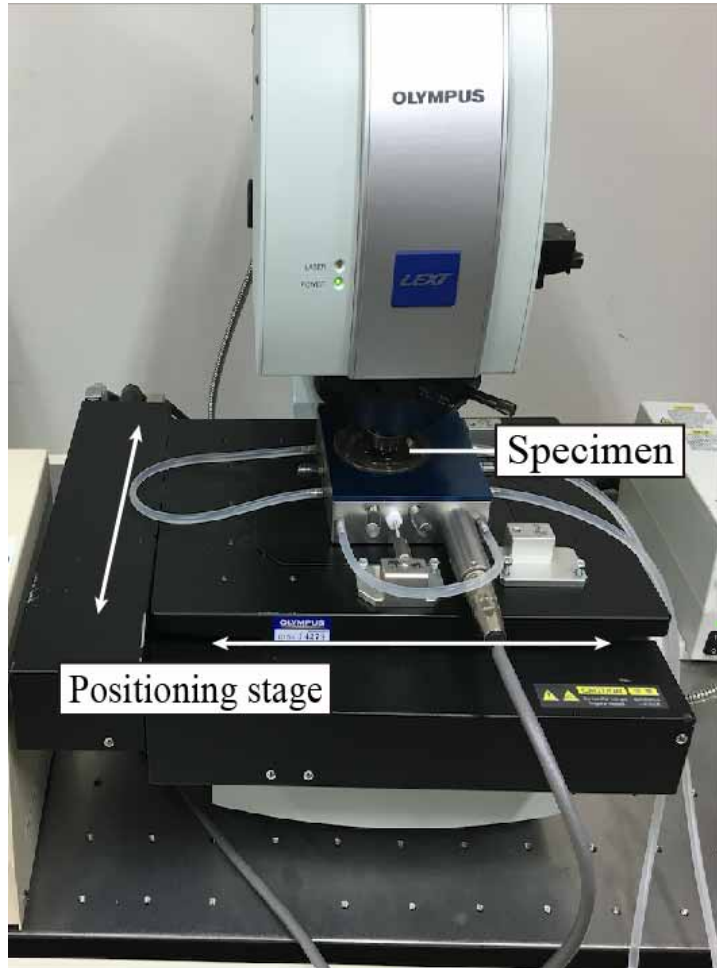
Sample A

計測範囲



Sample B

# 計測システム



↑共焦点レーザー  
走査型顕微鏡

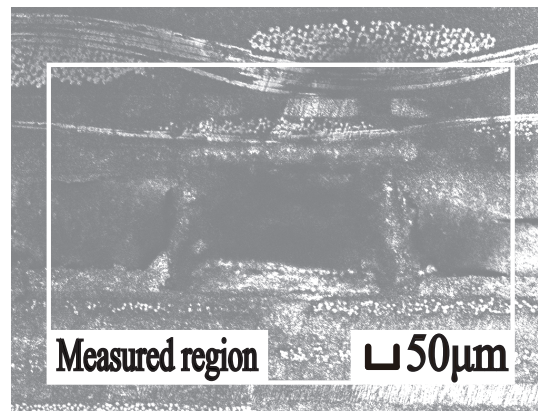
## 計測条件

- 観察倍率: 20×
- 画像サイズ: 1024×768
- サブセットサイズ: 25pixels

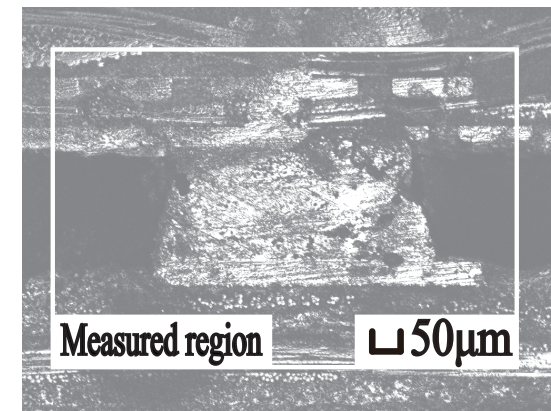


水平な観察窓

↓計測範囲

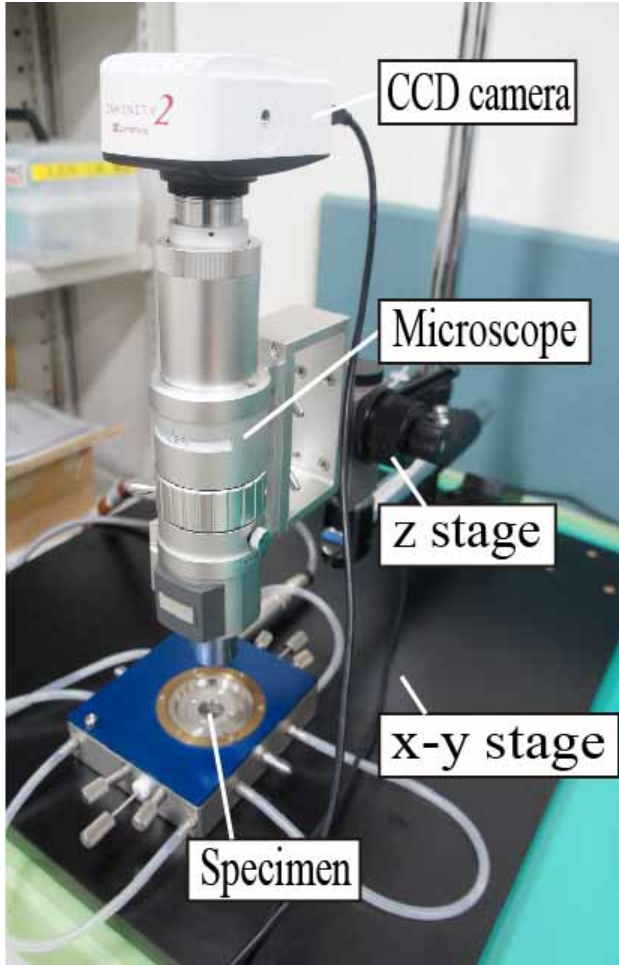


Sample A



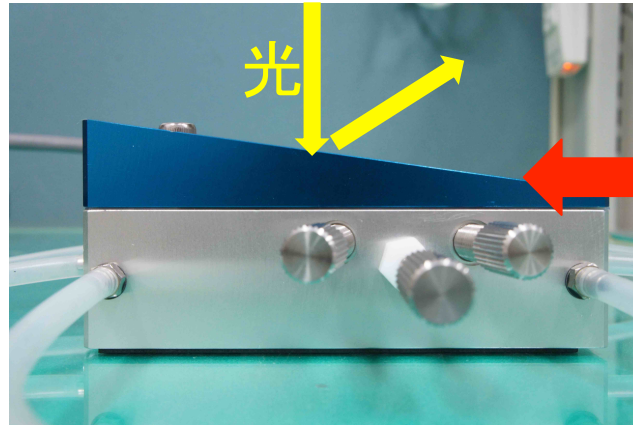
Sample B

# 計測システム

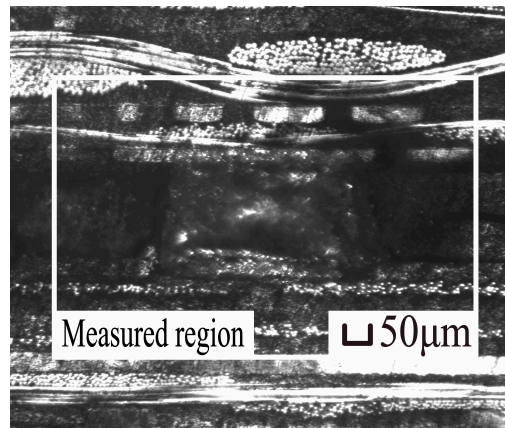


## 計測条件

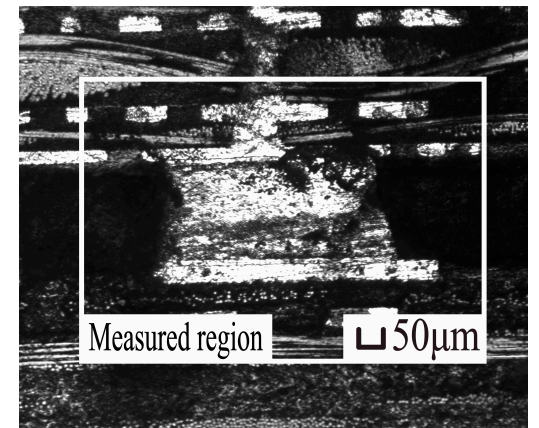
- ・ 観察倍率:  $600\times$
- ・ 画像サイズ:  $2448\times 2048$
- ・ サブセットサイズ: 60pixels



↓計測範囲



Sample A



Sample B

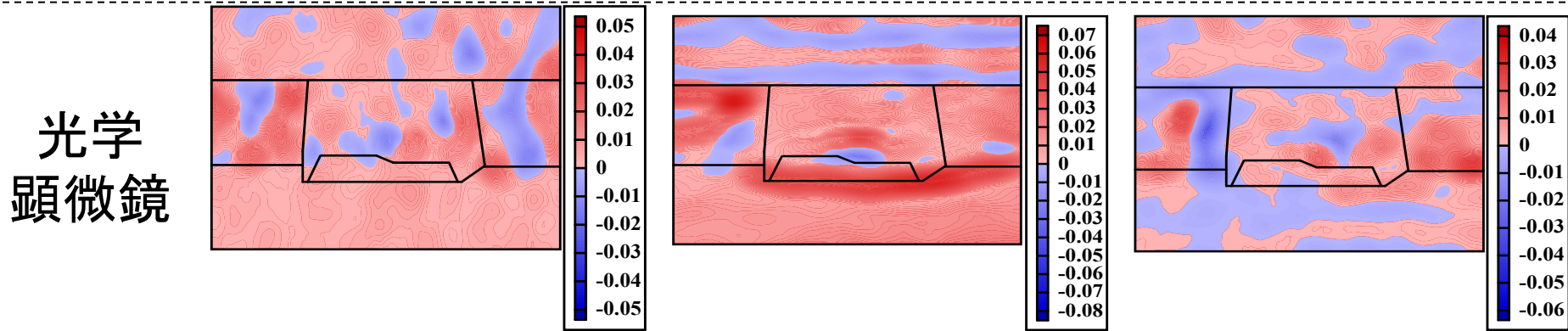
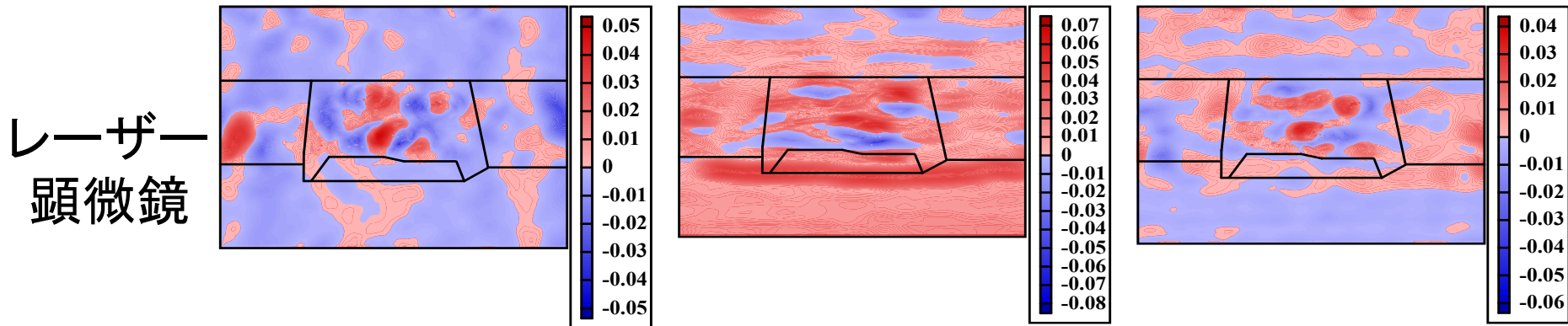
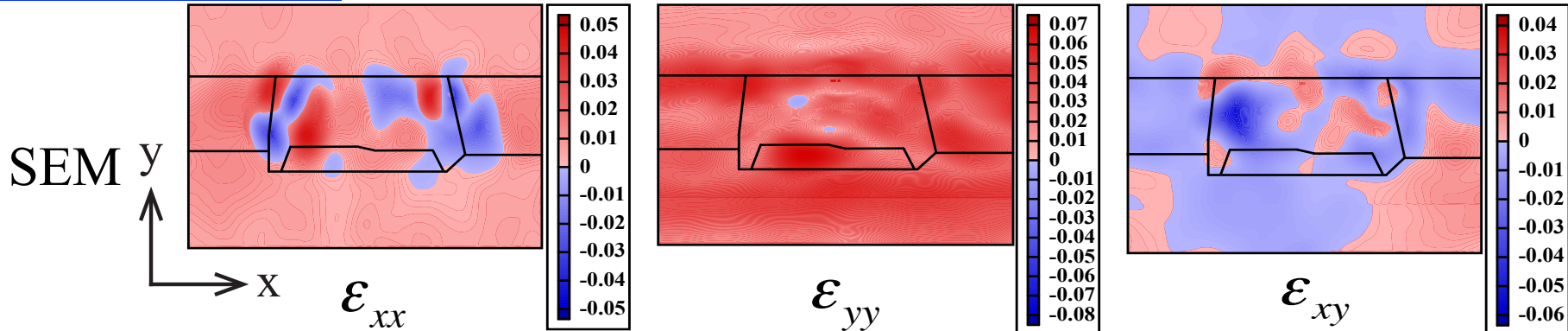


# 発表の流れ

- 研究背景・目的
- ひずみ計測理論
- 実験方法・条件
- 熱ひずみ分布結果の比較・評価
- 結論

# 熱ひずみ分布結果の比較・評価

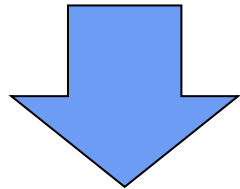
Sample Aの比較 : 初期温度~200°Cまで加熱した時の熱ひずみ



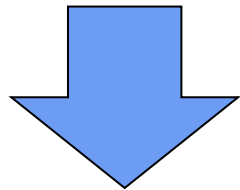
# Sample Aの評価

## 原因

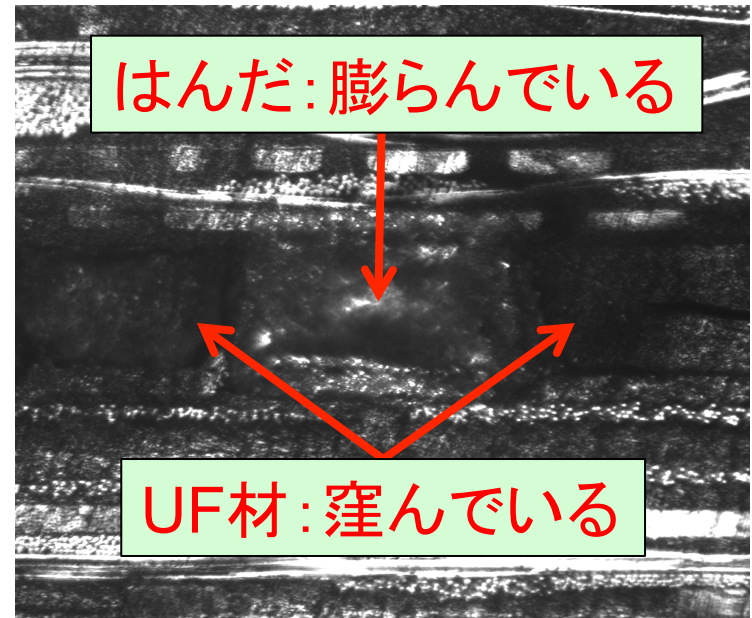
- 加熱ホルダーの熱電対の不具合
- 複数回の実験によるSample Aの劣化



はんだとアンダーフィル(UF)材に  
高低差が生じた.

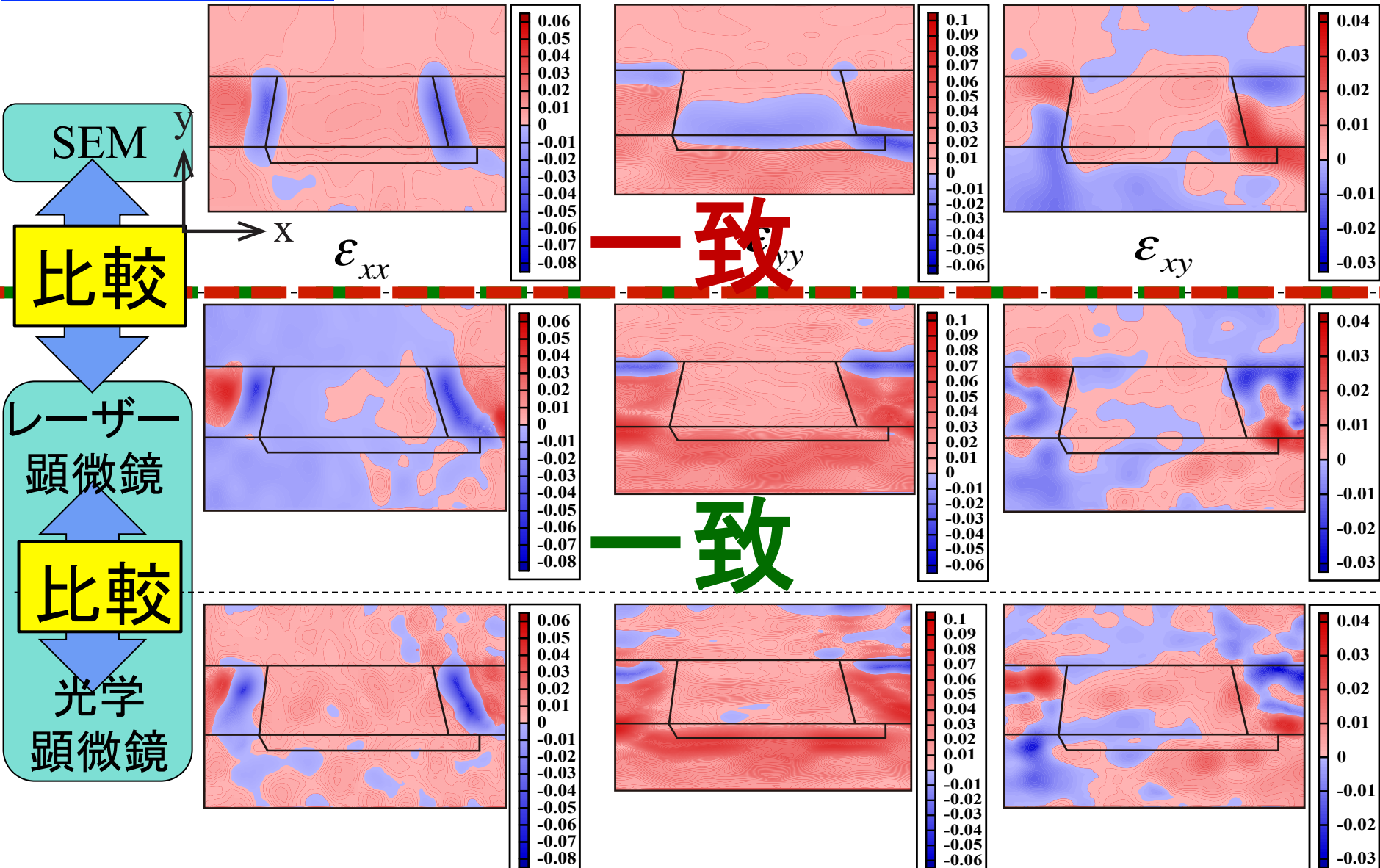


レーザー顕微鏡, 光学顕微鏡の仕様上  
はんだ周辺が適切に撮影できなかった.



# 熱ひずみ分布結果の比較・評価

Sample Bの比較: 初期温度~200°Cまで加熱した時の熱ひずみ



# 発表の流れ

- 研究背景・目的
- ひずみ計測理論
- 実験方法・条件
- 熱ひずみ分布結果の比較・評価
- **結論**

# 結論

- SEM観察用の模様付けを使用しても, レーザー顕微鏡と光学顕微鏡画像から取得したひずみ分布結果が正常に示される事が確認できた.
- 各顕微鏡画像により, 試験用チップのはんだ周辺(約500×300 $\mu$ m四方)の熱ひずみ分布を計測し,
  - SEM画像から取得したひずみ分布
  - レーザー顕微鏡, 光学顕微鏡画像から取得したひずみ分布を比較し, SEM-DICMの解析精度の確認ができた.

ご清聴ありがとうございました