

# 「三次元光デバイス高効率製造技術」プロジェクト

## Ⅲ. 研究項目②三次元加工システム技術 (1) 三次元加工システム技術目標、 (2) 波面制御三次元加工

平成23年6月23日

田中 SL






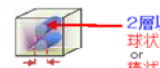
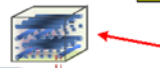
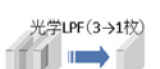

事業原簿 67、127-337頁

1/36

### Ⅲ. 研究開発成果 (1)目標の達成度 (個別研究開発項目) 研究項目②三次元加工システム技術

公開

#### (1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

研究開発項目	中間目標	最終目標
①デバイス加工用ガラス材料技術共通目標 (1)デバイス加工用ガラス材料技術共通目標 (2)三次元光学デバイス用ガラス材料技術 (3)三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術	<p>自主目標: 異質相形成メカニズムの解明、データの体系化(異質相形成の閾値、速度やサイズのガラス材料依存性)</p>  <p>異質相と母材の屈折率差 <math>\Delta n \geq 0.01</math> 可視光領域 (400-760nm)</p>  <p>光伝搬損失 <math>\leq 0.1\text{dB/cm}</math> 波長1.55<math>\mu\text{m}</math> @Single Mode</p> <p>直線導波路(レーザー照射条件最適化):</p>	 <p>異質相と母材の屈折率差 <math>\Delta n \geq 0.015</math> 可視光領域 (400-760nm)</p>  <p>光伝搬損失 <math>\leq 0.1\text{dB/cm}</math> 波長1.55<math>\mu\text{m}</math> @Single Mode</p> <p>直線導波路(三次元加工システムで作製)</p>
②三次元加工システム技術	(1)三次元加工システム技術目標	<p>60<math>\mu\text{m}</math> × 60<math>\mu\text{m}</math> × 60<math>\mu\text{m}</math> <b>三次元基本加工機能を確認</b></p>  <p>9<math>\mu\text{m}</math> <math>\leq \pm 0.9\mu\text{m}</math></p>  <p>2層以上の球状異質相 or 棒状異質相</p> <p>60<math>\mu\text{m}</math> × 60<math>\mu\text{m}</math> × 60<math>\mu\text{m}</math> <b>100倍以上の高速加工を実現</b></p>  <p>100個以上の球状異質相 or 棒状異質相</p>
	(2)波面制御三次元加工システム技術	<p>ホログラム設計速度 <math>\geq \times 3</math> (従来比)</p> <p>一括で</p> <p>ホログラム加工精度 <math>\leq \pm 40\text{nm}</math> 設計速度 <math>\geq \times 10</math> (従来比)</p>
③三次元加工システム応用デバイス技術	(1)三次元光学デバイス技術	<p>空間光変調器: 変調速度 30Hz 光位相変調度 <math>\geq \pi\text{rad}</math> 耐光性 <math>\geq 30\text{GW/cm}^2</math> (100fs, 1kHz)</p> <p>光学LPFの一次設計 ・光学LPFの試作(多点描画) ・方向無依存性の確認(シミュレーション &amp; 試作確認)</p>  <p>光学LPF(3→1枚)</p> <p>一括描画で確認</p> <p>2光軸開き角 <math>&gt; 0.23^\circ</math> モアレ抑制の確認</p>
	(2)三次元光回路導波路デバイス技術	<p>波面制御法(ホログラム)で直線導波路</p> <p>光伝搬損失 <math>\leq 0.1\text{dB/cm}</math> 波長1.55<math>\mu\text{m}</math> @Single Mode</p>  <p>直線導波路</p> <p>光伝搬損失 <math>\leq 0.1\text{dB/cm}</math> 波長1.55<math>\mu\text{m}</math> @Single Mode</p> <p>三次元光コブラ: 1×16 挿入損失 <math>\leq 17\text{dB/cm}</math> 反射減衰量 <math>\geq 45\text{dB}</math> 波長1.50~1.60<math>\mu\text{m}</math></p>

事業原簿 67頁

2/36

(1)三次元加工システム技術目標&(2)波面制御三次元加工システム技術

**目的** ガラス等の透明材料を、ホログラムとフェムト秒レーザーを使用して高速・高精度で加工できる技術を開発する。

**開発内容**

- ①**高速度で3D微細加工をホログラムを使用して実現**
  - ⇒高速・微細加工実現のためにガラス・ホログラムのデザイン技術を開発  
必要な技術開発
    - ・3Dホログラムの設計技術とその高速設計技術の開発
    - ・ホログラムの作製技術を開発(高精細化、多段化)
  - ⇒ホログラムを使用した加工技術の開発  
必要研究
    - ・レーザー光と材料構成原子・分子との反応の素過程の考察
  - ⇒低トース加工デバイスのデザイン技術の開発
- ②**開発した技術で具体的なデバイスを試作し、その有効性を確認**
  - ー3D微細加工技術を各種デバイス作製に適用ー
  - ⇒試作例(光デバイス、光回路デバイス、アクティブ化基礎デバイス、他デバイス)
- ③**試作した三次元デバイスの形状を評価できる技術の開発**
- ④**高速加工用ガラス材料の開発**

(1)三次元加工システム技術目標&(2)波面制御三次元加工システム技術

**如何にして高速・高精細加工技術を開発するか？**

紙の厚み=100µm  
毛髪の太さ=60µm

数cmレベルを一括で加工できる技術をも開発する。

光軸方向に伸びない  
3Dでの高速加工技術

低エネルギー加工用  
ガラス材料

デバイスのアクティブ化

µmレベルの大きさの100点を3Dで作製  
←一括照射で高速で3Dで作製→

**開発内容**

- ①高速度で3D微細加工をホログラムを使用して実現
  - ⇒ガラス・ホログラムのデザイン技術を開発
  - ・3Dホログラムの設計技術とその高速設計技術の開発
  - ・ホログラムの作製技術を開発(高精細化、多段化)
  - ⇒ホログラムを使用した加工技術の開発
  - ・レーザー光と材料構成原子・分子との反応の素過程考察
  - ⇒低トース加工デバイスのデザイン技術の開発
- ②開発技術で具体的なデバイスを試作し、その有効性を確認
  - ー3D微細加工のデバイスへの適用ー
  - ⇒試作例(光デバイス、光回路デバイス、デバイスのアクティブ化他)
- ③試作した三次元デバイスの形状を評価できる技術の開発
- ④高速加工用ガラス材料の開発

様々な三次元形状のデバイスを高速・高精度で作製することが可能となる。

## 何故この目標<高速加工>なのか

表 光学ローパスフィルタの作製時間と作製量および推定製造コスト

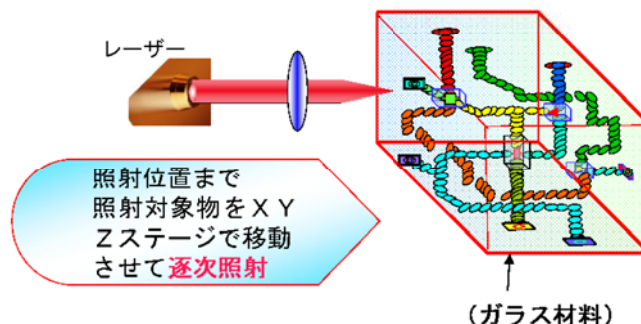
項目	一個の製作時間	コスト/個	1日製作量	備考
従来法1倍	1週間(5日)= 4.32×10 <sup>5</sup> 秒	43.2万円	0.2個/日	デジタルカメラのモ ア除去用回折 格子サイズ: 10.9×10.9×0.2 (mm) 加工体積: 1/2 を加工
1万倍 (現状)	43.2秒	43.2円	2千個/日	
10万倍	4.32秒	4.32円	2万個/日	
100万倍	0.432秒	0.432円	20万個/日	
1000万倍	0.0432秒	0.0432円	200万個/日	
1億倍	0.00432秒	0.00432円	2000万個/日	

本技術による高速加工の可能性

## 何故この目標<高速加工>なのか

### — 従来の加工法 —

一点ずつをレーザーショットで作製

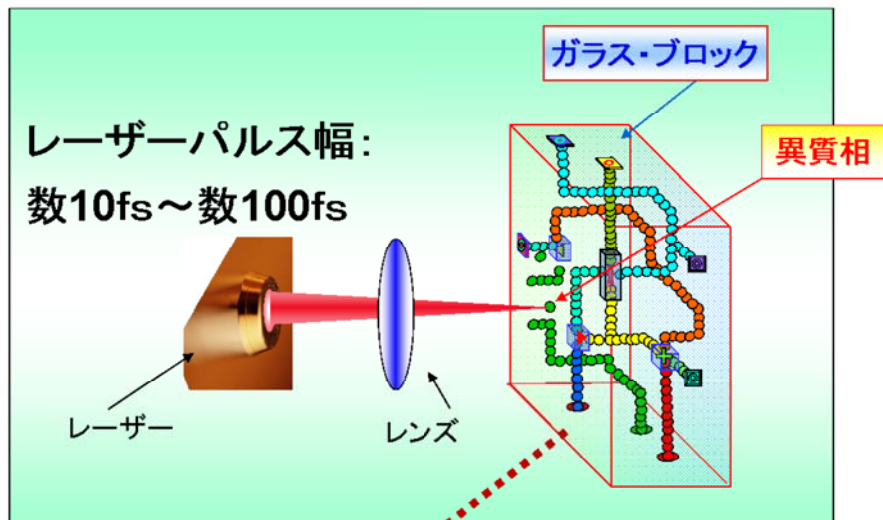


#### 多点描画による加工

- ・描画に時間が長くなる
- ・精度が低い (ステージの精度、レーザー出射角、強度の時間的変動)
- ・エネルギー利用効率が低い

## 従来の加工法

フェムト秒レーザーでガラス内部にデバイスを作製



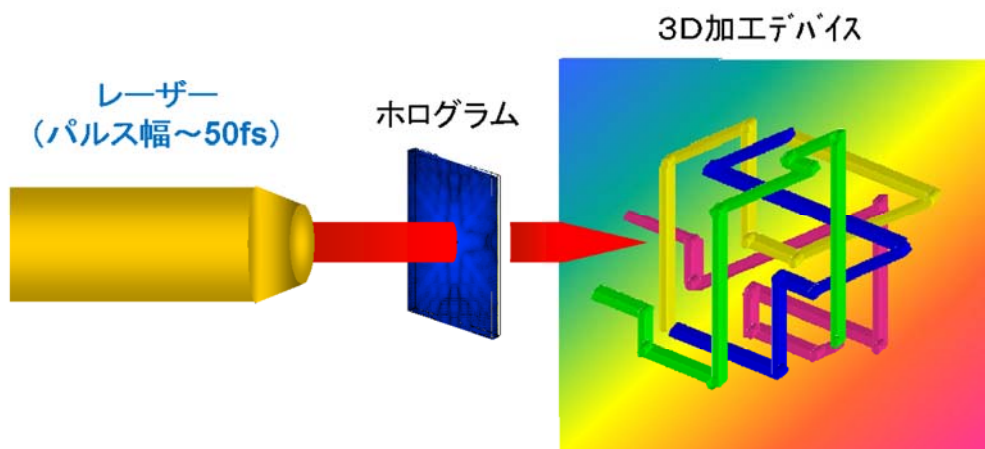
**一点ずつ作製 ⇒ 時間が掛かる**

参考図

(1)三次元加工システム技術目標&(2)波面制御三次元加工システム技術

## 何故この目標<高速加工>なのか

— 本加工法 —



参考図 ホログラムを使用した3D加工



Ⅲ. 研究開発成果 (1)目標の達成度 (個別研究開発項目)

公開

研究項目②三次元加工システム技術

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

研究開発項目	最終目標	成果 / 達成度	今後の課題
①デバイス加工用ガラス材料技術	(1)デバイス加工用ガラス材料技術共通目標	自主目標: 異質相形成メカニズムの解明。データの体系化 (異質相形成の閾値、速度やサイズのガラス材料依存性)	
	(2)三次元光学デバイス用ガラス材料技術	異質相と母材の屈折率差 $\Delta n \geq 0.015$ 可視光領域 (400-760nm)	
	(3)三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術	直線導波路(三次元加工システムで作製) 光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長 $1.55\mu\text{m}$ @Single Mode	
②三次元加工システム技術	(1)三次元加工システム技術目標	60 $\mu\text{m}$ ×60 $\mu\text{m}$ ×60 $\mu\text{m}$ 100個以上の球状異質相 or 棒状異質相 $\rightarrow \leq 10\mu\text{m}$ 100倍以上の高速加工を実現	100個の点状異質相を一辺50 $\mu\text{m}$ の立方体内に50fs以下で実現。100倍以上の高速加工を確認/◎
	(2)波面制御三次元加工システム技術	ホログラム 加工精度 $\leq \pm 40\text{nm}$ 設計速度 $\geq \times 10$ (従来比)	加工精度 $< \pm 40\text{nm}$ 設計速度 $> 12$ /◎
	(3)空間光変調器三次元加工システム技術	空間光変調器: 変調速度 50Hz 光位相変調度 $\geq 2\text{mrad}$ (0~ $2\pi$ で制御可) 耐光性 $\geq 50\text{GW/cm}^2$ (100fs, 1kHz)	
③三次元加工システム応用デバイス技術	(1)三次元光学デバイス技術	光学LPF(3→1枚) 2光軸開き角 $> 0.236^\circ$ モアレ抑制の確認 $\geq \square 2.5\text{mm}$ $\rightarrow \leq 0.3\text{mm}$	一括描画で確認
	(2)三次元光回路導波路デバイス技術	直線導波路 光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長 $1.55\mu\text{m}$ @Single Mode	3次元光コブラ: $1 \times 16$ 挿入損失 $\leq 17\text{dB/cm}$ 反射減衰量 $\geq 45\text{dB}$ 波長 $1.50 \sim 1.60\mu\text{m}$

事業原簿 67頁

9/36

Ⅲ. 研究開発成果 (2)成果の意義 (個別研究開発項目)

公開

研究項目②三次元加工システム技術

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

成果についての考察

- ホログラムの設計速度 $> 12$   
<最終目標達成>

◎考察: 高速計算処理用ソフトウェアの開発にて、従来比で12倍以上の高速化を確認し、このソフトを使用してホログラムを設計し、この得られたホログラム作製用データにて加工精度を $\pm 40\text{nm}$ 以下でガラスホログラムを作製できた。これにて、上述の100個同時作製可能な三次元ホログラムを作製できた。

数cmの直線、曲線などを組合せた三次元ホログラムの設計手法、ゼロ次項の発生しないホログラムの設計手法を開発した。

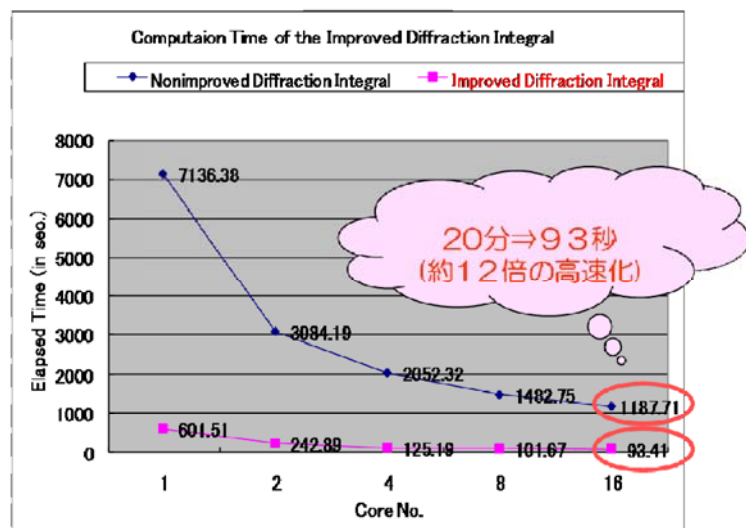


図3-2-1-a-6. 回折積分1回あたりの計算時間測定の結果

事業原簿 73、135頁

10/36

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

成果についての考察 100点加工用ホログラム例

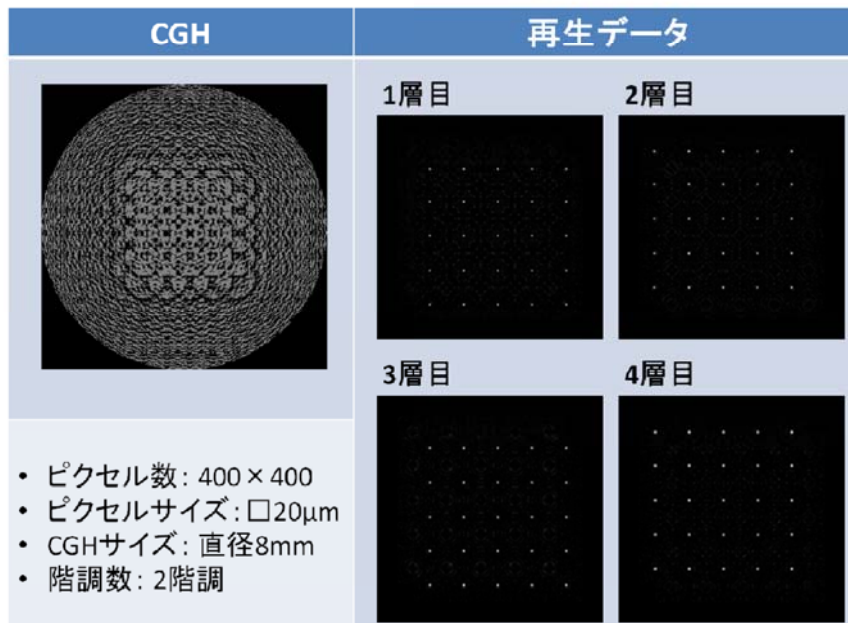


図3-2-1-a-12. 三次元ドット面心立方格子モデルの設計結果  
(100点加工用)

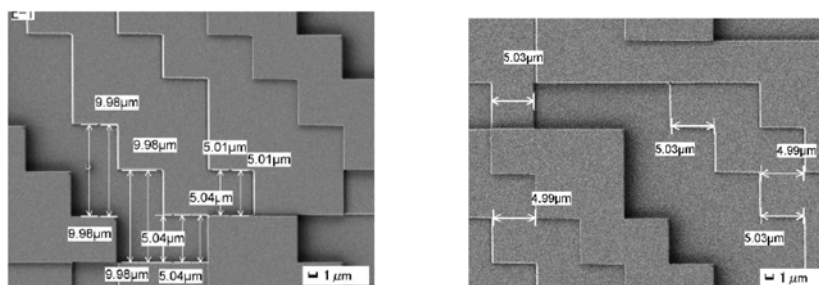
(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

成果についての考察

●加工精度 $\pm 40\text{nm}$ を確認 <最終目標達成>

◎考察: 測定したパターン幅は設計段幅 $5\mu\text{m} \pm 40\text{nm}$ 以下である。このホログラムを使用して、上述の100個同時作製可能な三次元ホログラムを作製できた。

数cmの直線、曲線などを組合せた三次元ホログラムを作製した。



図(2)(c)-19 ピクセルサイズ $5\mu\text{m}$ 、位相4段ガラス・ホログラムのSEM観察例  
(左と右は異なる場所の観察例)

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

成果についての考察 <最終目標達成>

特許作成中(3件)

●100個の点状異質相を一辺50 $\mu\text{m}$ の立方体内に50fs以下で実現。100倍以上の高速加工を確認。加工時の光軸方向への伸びは、2 $\mu\text{m}$ 以下であった。

◎考察: ステージを移動させながら個々の点を作製するとすれば、個々の点位置にステージを止めて100回加工する必要がある。従って、ステージの移動と所定の位置に止める時間を考慮すると、100倍以上の加工速度となる。

また、今回は100個の点を加工したが、有効なレーザー出力の利用(本加工では、全出力を使用していない)、高効率プログラムの開発、加工効率のよい材料の開発により更に100倍以上の同時加工が可能で、少なくとも従来比で10,000倍以上の加工速度が得られている。

◎伸びない加工の実現 伸び<2 $\mu\text{m}$   
加工の基本 ⇒ 加工の素過程の解明が必要

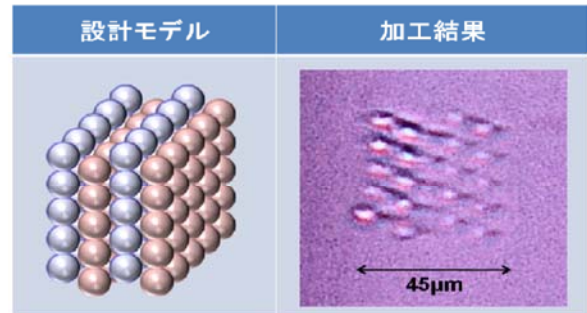
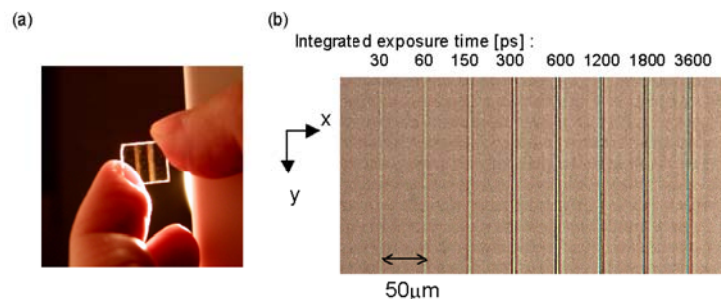


図2-2-1-f-1. 異質相100個の三次元格子配列の加工結果

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

基本デバイスの試作-1 (TEG)

アクティブ化基本技術: 直線



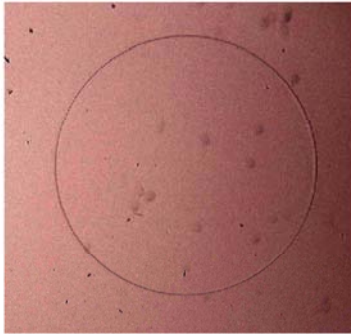
図(2)(g)-3 一括加工で作製した直線導波路(積算照射時間:30~3600ps)  
(a)1cm直線導波路全体図 (b)光学顕微鏡による拡大図

数cmの一括作製が可能  
繋ぎ加工も可能

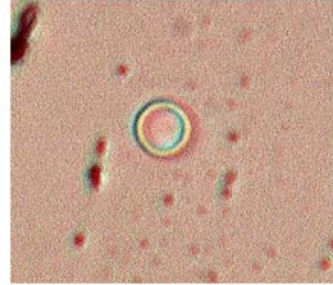
(1)三次元加工システム技術目標&(2)波面制御三次元加工システム技術

基本デバイスの試作-4  
(TEG)

アクティブ化基本技術: 円



図(2)(g)-14 半径1mmの  
円の一括加工結果



図(2)(g)-15 半径10μmの  
円の一括加工結果

(1)三次元加工システム技術目標&(2)波面制御三次元加工システム技術

◎ プロジェクト目標に掲げた具体的デバイス

開発したホログラムによる高速加工の有効性を具体的な  
デバイスで確認した。

⇒ 研究項目③「三次元加工システム応用デバイス  
技術」で報告

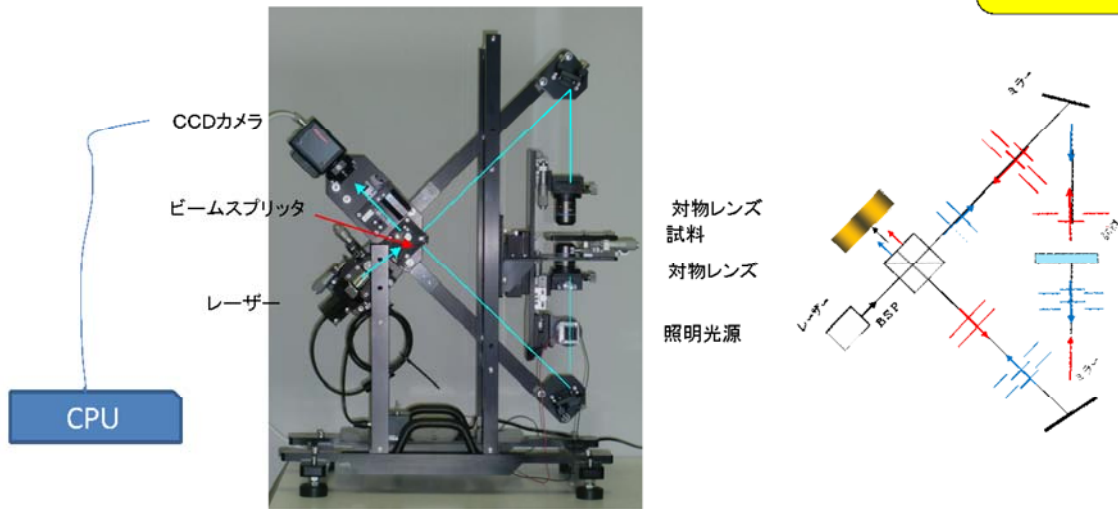
- ・ 光学ローパスフィルタ(後述)
- ・ 光導波路デバイス(後述)



### 三次元形状計測技術

＜三次元屈折率差測定機能付き形状測定器＞  
(最終数値目標はないが、具体的研究内容として挙げている)

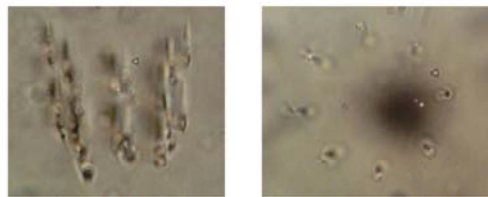
非破壊



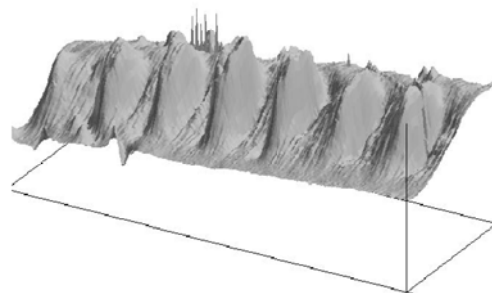
図(i)b-34 三角光路干渉計原理図と作製干渉計

### (1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

#### 測定例



図(i)b-35 異質相部像(左:側面より 右:上面より)



図(i)b-3 三次元測定器での測定結果

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

## その他の重要な技術

### 3D 自由形状・微細同時加工用要素技術の開発

#### <3Dホログラムによる高精細・高速一括加工技術>

- ・高精細三次元ホログラムのデザイン技術
- ・高耐光性・高光利用効率・高微細化ホログラムのデザイン及び作製技術
- ・ホログラムを使用したレーザー加工技術
- ・加工メカニズムの素過程を解明し高速・高精細化
- ・**低ドーズ加工デバイスのデザイン技術(詳細省略) ⇒ 1/10**
- ・加工が容易な材料の開発
- ・**デバイスのアクティブ化技術 ⇒ 局所的発光**
- ・材料内部にある低屈折率三次元形状分布の測定技術

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

## 目標達成結果及びその波及効果のまとめ

加工の基本 ⇒ レーザー光と材料との反応の素過程の解明が必要  
<素過程解明の思考の過程での考察結果の加工への適用>

- ◎ 点状加工: 三次元で100個作製、作製時間、使用レーザー出力 ⇒ 余力あり  
従来比で10,000倍以上の高精細・高速加工
- ◎ 線状立体加工: cmオーダーの直線、円、曲線など、及びこれらの組み合わせの一括加工  
総長数センチメートルの加工が可能  
繋ぎ加工、合成加工が可能(実験データあり)
- ◎ 加工速度の大幅な改善  
三次元デバイスを一度の照射で加工実現  
⇒ 低コスト化(従来比で10,000分の1以下)。採算ラインでの生産が可能。

### 更なる三次元加工の能力アップに関して(ホログラム能力の将来性)

ガラス・ホログラム能力の限界 ⇒ 半導体製造技術の限界で決まる(十分な能力あり)

現状半導体技術 ⇒ 段数 32段(光の利用効率~100%)

画素数 784億画素

サイズ 50×50mm

耐光性 ガラスホログラムにて十分

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

開発技術の適用先

- ◎半導体産業の次の産業への連続的な技術の延長線上に本技術を位置づける。  
<必ずしも光分野だけに限定する必要は無く、光分野以外にも適用できる分野がある。>
- ・半導体分野での二次元マスク ⇒ ホログラムによる三次元マスクに一部移行  
半導体関連デバイスの作製に2~3年で取り入れられるであろう。  
例. 半導体関連産業での三次元配線が活発になってきている。  
☆従来のフェムト秒レーザー加工による3D電気配線ではコストが合わない。  
今回開発した加工速度で十分との評価がある。
  - ◎三次元光配線への適用 ⇒ 基盤技術はできた?。どのように参入するかが課題。
  - ◎各種光デバイスへの適用の可能性を確認した。どのように参入するか。
  - ◎採算に合う加工を確認でき、各種デバイスへの適用を早急に進めることが重要。
  - ◎バイオ分野への適用。ナノバイオチップによるDNA分離。.....
  - ◎アクティブデバイス
    - ・可能性は確認した。更なる研究開発が必要。

(1)三次元加工システム技術目標 & (2)波面制御三次元加工システム技術

海外での研究開発状況

三次元デバイステーマと類似の研究が昨秋2010.9.21に海外で始めて発表  
発表元: Innsbruck Medical University and University of Oxford

- ・NGFの最初の発表は、2003年(国内)。海外で2004年(上記発表の参考文献にある)。
  - ・その他参考文献には、2008年のNGFの発表が上がっている。
- ・内容は多点の加工でNEDOの目標内容とほぼ同じ。数10 $\mu$ mサイズの加工。
  - ・cmオーダーの大きな加工は未だ。
- ・直線、曲線、直線と曲線の同時などの加工はない。

◎ 海外で、ホログラムを使用する加工がやっと出始めた。同加工がこれから普及するであろう。



継続研究など