

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007～2008

課題番号：19860083

研究課題名（和文）接合ダイナミクス可視化装置の構築

研究課題名（英文）CONSTRUCTION OF A VISUALIZATION SYSTEM FOR WELDING DYNAMICS

研究代表者

玉木 隆幸（TAMAKI TAKAYUKI）

奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・助教

研究者番号：80455154

研究成果の概要：

超短光パルスを用いた透明材料のマイクロ接合法に関して、接合メカニズムの多角的・多面的な解明を目的として、フィゾー干渉計とヘテロサイン干渉計を用いた被接合材料間隙の時系列変化を可視化し、本接合法の基盤となる知見を集積するためのシステムの構築を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	1,360,000	0	1,360,000
20年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,710,000	405,000	3,115,000

研究分野：応用光学

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：レーザーマイクロ接合、フェムト秒レーザー、可視化、ダイナミクス、レーザー加工

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、これまでピコ秒からフェムト秒オーダーの超短光パルスを用いることにより、(1)さまざまなガラス内部に光導波路、回折格子などの3次元マイクロ微小光学デバイスを作製してきた。また、(2)超短光パルスを2枚の透明材料間に集光することにより、材料境界面近傍のみをマイクロオーダーにて接合可能な手法を提案し、同種ガラス間、ガラスとシリコン間のマイクロ接合に世界で初めて成功している。超短光パル

スを用いたその接合技術は、2枚の透明材料境界面に超短光パルスを集光照射することにより、集光点近傍に非線形吸収現象を誘起させる。非線形吸収現象により集光点近傍においてマイクロオーダーの局所的な材料溶融が生じる。レーザー光照射後には、材料の再凝固が生じるため、マイクロ溶接が可能となる。集光点の走査により、任意形状の接合領域を形成させることもできる。また、非線形吸収現象を用いるため、材料表面の損傷なしに材料境界面のみを接合可能である。さらに、材料間に従来のレーザー接合法では必要

であった光吸収材を挿入する必要がないため、環境にやさしく、接合後の領域を光透過させることも可能といった特長をもつ。

研究代表者らの日本発世界初の発明をもとに、現在4つの国際的な研究グループが超短光パルスを用いた透明材料の接合に関する研究を行っているが、その加工メカニズムに関しては、黎明期ゆえ、未知な部分が多く存在している。本研究では、我々が先導的に培ってきた本接合技術に関して、基礎的な接合メカニズムについての知見を集積し、本接合法の基盤を確立することを目的として研究を行った。

2. 研究の目的

本研究では、超短光パルスを用いた透明材料のマイクロ接合法に関して、接合メカニズムの多角的・多面的な解明を目的として、被接合材料間の隙間の時系列変化を可視化し、本接合法の基盤となる知見を集積することを目的とする。具体的には、(1) フィゾー干渉計を構築し、接合領域における被接合材料の隙間を時系列変化として計測すること。

(2) 試料間隙の時系列変化をより高精度にて測定するために、ヘテロダイン干渉計を構築すること。(3) 熱伝導方程式を計算機シミュレーションすることにより、熱伝導についての知見を得ることである。

3. 研究の方法

本研究の実施に際しては、研究の目的において述べた、(1) フィゾー干渉計を構築し、接合領域における被接合材料の隙間を時系列変化として計測すること。(2) 試料間隙の時系列変化をより高精度にて測定するために、ヘテロダイン干渉計を構築すること。

(3) 熱伝導方程式を計算機シミュレーションすることにより、熱伝導についての知見を得ることの順に、それぞれ、以下の方法で行った。

(1) フィゾー干渉計を用いた試料間隙の時系列変化計測

集光点(熱源)からの熱伝導について明らかにするために、本研究では、フィゾー干渉計(図1)を用いた被接合材料間隙の時系列変化を計測する。具体的には、試料間隙にヘリウムネオンレーザーを照射すると試料間隙の大きさに応じた干渉縞が形成される。

この干渉縞を撮像素子と画像ボードを用いることにより、デジタルデータとして計算機に取り込む。計算機を用いて位相回復を行い、試料間隙を定量化する。撮像素子のフレームレートに応じて上記のプロセスを行い、試料間隙の時系列変化を計測する。超短光パルスレーザーシステムは、当該研究機関において所有していないため、温度調整器により被接合材料の温度変化を調節し、試料間隙の変化を確認する。

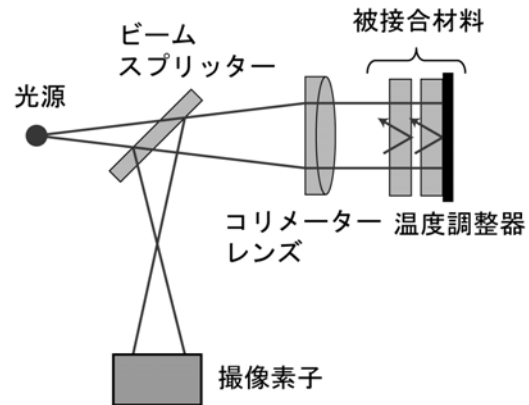


図1 フィゾー干渉計を用いた試料間隙の時系列変化計測

(2) ヘテロダイン干渉計を用いた試料間隙の時系列変化計測

波長の100分の1程度の高精度にて面形状を測定することができるヘテロダイン干渉計(図2)を用いて、試料間隙の情報を時系列変化として計測し、熱輸送現象についての知見を得る。

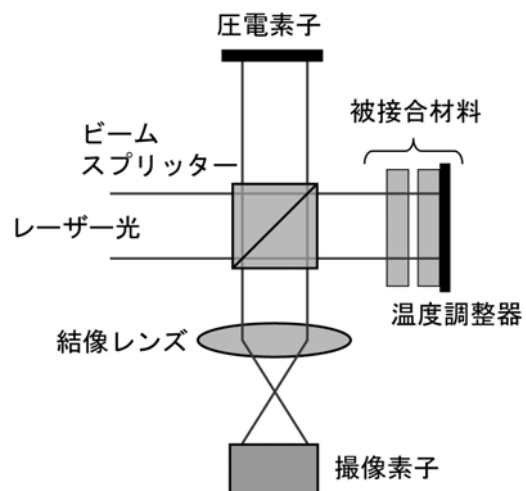


図2 ヘテロダイン干渉計を用いた試料間隙の時系列変化計測

(3) 熱伝導の計算機シミュレーション

超短光パルスを透明材料内部に集光照射した場合、集光点近傍のみに非線形吸収現象が生じ、集光点において熱の発生が生じる。そこで、集光点近傍からの熱伝導に関する計算機シミュレーションを行い、接合時における熱伝導ダイナミクスの解明を行う。また、計算機シミュレーションにより得られた熱伝導の結果を実際の実験結果と照らし合わせ、情報の補完を行う。

4. 研究成果

(1) フィゾー干渉計を用いた試料間隙の時系列変化計測

本研究では、集光点（熱源）からの熱伝導を解析するために、フィゾー干渉計を用いた試料間隙の時間分解計測システムの構築に関する要素技術の開発を行った。具体的には、フィゾー干渉計とほぼ同じ原理のマイケルソン干渉計を構築し、参照基準反射鏡と被検反射鏡からの両反射光束間の位相差を定量的に測定する技術開発を行った。マイケルソン干渉計の光源としては、ヘリウム-ネオンレーザー（波長 632.8 nm）を用いた。光源から射出された光は、焦点距離 $f_1 = 100 \text{ mm}$ の凸レンズと $f_2 = 200 \text{ mm}$ の凸レンズにより、ビーム径を拡大し、ビームスプリッターにより2つの光束に分割した。その後、参照基準反射鏡と被検反射鏡により反射された各光束をビームスプリッターにより再度重ね合わせた。各反射鏡からの光束を重ね合わせた場合、光路差に応じた干渉縞が形成された。ここで、干渉縞の次数が1つ変化するためには、レーザー波長に相当する光路差の変化が必要であることに注意すると、被検反射鏡が波長の半分だけ移動すれば干渉縞の次数が1つ変化することがわかる。つまり、被検反射鏡が波長の半分より大きく変化すれば、2つ以上の明るい縞、あるいは、暗い縞が現れることになる。実際にどの程度、被検反射鏡が変化したかを定量的に測定するためには、各干渉縞より位相を求め、それらの位相をつなぎ合わせる位相接続（アンラッピング）作業を行う必要がある。そこで、干渉計により形成された干渉縞を CCD（Charge-Coupled Device）カメラにより撮影し、画像ボードを用いることにより、デジタルデータとして計算機に取り込んだ。取り込んだ画像の各ピクセルから各位相を求め、各ピクセル間の位相情報を比較することにより、位相接続を行

った。この操作を画像全体にわたり行い、2次元的に位相変化を求めた。

実際に得られた干渉縞とその階調値をもとにアンラッピングを行った結果を図3、図4にそれぞれ示す。

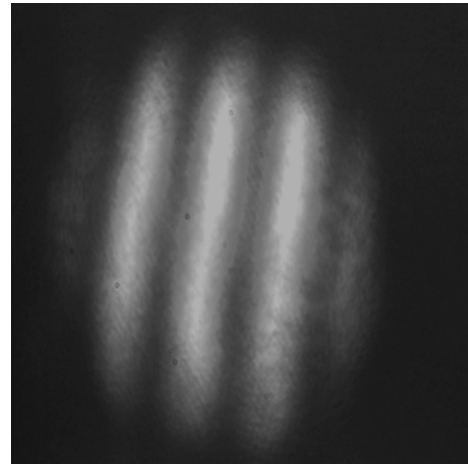


図3 CCDカメラにより撮像された干渉縞

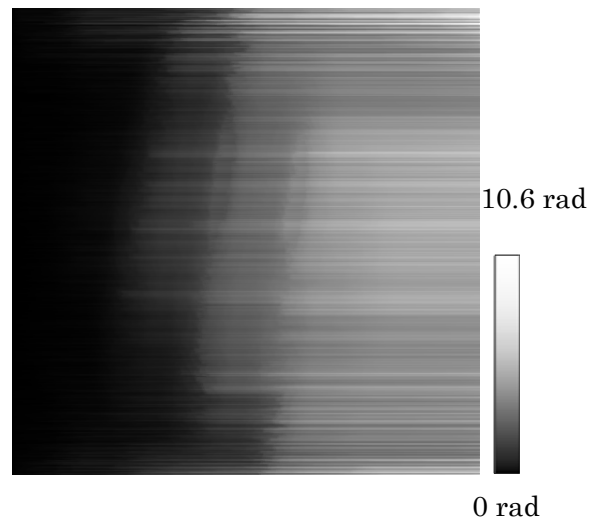


図4 階調値をもとにアンラッピングした結果

図4からアンラッピングが行われていることが示唆される。さらに、この結果からは、参照基準反射鏡と被検反射鏡の行路差を求めることもできる。つまり、試料間隙に相当する情報を得る技術開発を行い、試料間隙の時間分解計測システムの基礎部分を構築したといえる。

(2) ヘテロダイン干渉計を用いた試料間隙の時系列変化計測

本研究では、集光点（熱源）からの熱伝導を解析するために、ヘテロダイン干渉計を用いた試料間隙の時間分解計測システムの構築に関する要素技術の開発を行った。具体的には、ヘリウム-ネオンレーザー光源（波長 632.8 nm）からの光を偏光ビームスプリッターにて2つの偏光成分に分離し、p 偏光を 80 MHz の周波数で変調されている音響光学変調器に入射した。さらに、s 偏光も別の音響光学変調器に入射した。その後、無偏光ビームスプリッターにて両者の光を一部取り出し、偏光板にて偏光方向をあわせ、光検出器に入射した。光検出器は和周波、差周波の周波数信号を検出することが可能であるが、光の周波数は極めて高いため、差周波の周波数信号のみをビート信号として検出した。その後、無偏光ビームスプリッターを通過した光を偏光ビームスプリッターにて2つの偏光成分に分離し、p 偏光を 1/4 波長板を通して、測定対象に照射した。その後、1/4 波長板を通過し、s 偏光となった反射光を偏光板に通し、光検出器に入射した。一方、偏光ビームスプリッターにて分離された一方の s 偏光は、1/4 波長板を通し、参照面に照射した。参照面にて反射された光は、再度 1/4 波長板を通過し p 偏光となる。その後、偏光板を通して、光検出器に入射した。つまり、光検出器では、参照面と物体面からの反射光による干渉信号をとることができた。今後、試料間隙を求めるための処理手法を確立することによって、試料間隙の時系列情報を入手することが可能となり、超短光パルスを用いた本接合法における、集光点からの熱伝導の解析が進むと考えられる。

(3) 熱伝導の計算機シミュレーション

集光点近傍からの熱伝導に関する計算機シミュレーションを行い、接合時における熱伝導ダイナミクスの解明に関して、大阪大学宮本勇名誉教授らの報告にある計算式を用いて、研究を行い、熱移動に関する基礎的な知見を集積した。

以上、三点の研究を行ったことにより、わが国発世界初の技術である超短光パルス加工に関するメカニズムの解析手段を手に入れたといえる。今後、本システムの利用によって、接合メカニズムの理解がすすむと同時に、本接合法が発展するものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]
○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

玉木 隆幸 (TAMAKI TAKAYUKI)

奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・助教

研究者番号：80455154

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし