

光干渉を用いた振動計測

宇都宮大学 光システムデザイン研究室 修士1年

小松宗太郎(こまつそうたろう)

【概要】フェムト秒レーザーをサンプルに集光照射すると広帯域な超音波が発生する。発生した超音波は加工対象の状態観測に有効である。超音波は空気中と物体中の2種類の伝搬方法がある。本研究では物体中を伝搬する超音波を光干渉で計測する。

【栃木を元気にするには】栃木県は光産業を重点振興産業としているため、光産業が盛んである。また、宇都宮大学院では光工学の教育プログラムが存在している。よって、企業と大学の親和性が高いため、産学官連携を行える下地がある。加えて、そこから新たなビジネスを展開できれば栃木県はより活発化すると考えている。

半導体デバイスのレーザー穴あけやレーザー切断は、その小型化や多層化、複雑構造化、多種集積化高スループット製造にすでに多くの技術的な寄与を与え、更なる高度化が期待される。例えば、スループットを維持しつつ、小さな径の穴加工を実行できれば、その技術的競争力は高まる。また、製品サイクルの短期化や製品の多種化が進む中、その加工条件の時間短縮化も重要な要件となる。最適な加工条件を求めるためには事前に十分な加工実験を行い、サンプルの加工形状を観測しデータを得る。得られたデータから波長やパルスエネルギー、パルス幅、繰返し周波数、操作速度、スポットサイズ、焦点位置等のレーザーパラメータの最適化をし、また加工実験を行うというループを繰り返す必要がある。しかし、これには時間がかかる。また、高精度で高安定な加工のためには加工対象の状態をリアルタイムモニタリングし、レーザーパラメータにフィードバックする制御も必要になる。そこで状態観測と加工実験に得られたデータを関連させることでレーザーパラメータの最適化を効率良く行い、加工条件の探索時間を短縮することを考えた。本研究では、状態観測にレーザー加工の際に発生する超音波を用いることを考えた。

レーザーを照射した際に発生する音波はコンクリートの傷を解析する研究や溶接品質のモニタリングに用いられている。よって、この音波は対象物の観察において有益であることがわかる。また、音には深部でも測定できる利点がある。本研究では前段階として、光干渉を用いた超音波を計測する方法を提案する。

超音波の伝搬の仕方には、空気中と物体中の2種類の場合がある。空気中の場合、代表的な計測方法はマイクロホンがあり、物体中の場合は超音波プローブがある。本研究では、Fig.1のような光干渉を使った方法を用いて、物体中の超音波を計測する。計測方法を説明する。フェムト秒レーザー(中心波長1030nm, パルス幅129fs)が焦点距離10mm(NA=0.40)の対物レンズを用いてサンプルに集光照射すると、サンプル表面の数原子層がプラズマ化し、膨張する。その際、反力として圧力が加わり広帯域の音波が発生する。この音波は空気中や物質内部、表面に伝搬する。超音波がサンプル表面に到達すると、到達点がnm以下の微小な変位で振動する。到達点に振動検出用のレーザーを照射する。本研究では加工点の真裏に振動検出用レーザーを焦点距離100mmで集光照射している。サンプルから反射した光である物体光と参照光を干渉させる。微小振動によって、物体光の光路長が変化することで干渉光が変化する。干渉光はピンホール(25 μ m)を使用して狭い領域をとり、光検出器に入れることで超音波を計測すること

ができる。そのため、本振動計は非接触である。振動検出用レーザーには半導体レーザー(波長 631.7nm)を光源として使用し、マイケルソン干渉計を構築した。また、加工を行う光学系にも光検出器を設置しており、8:92 に分割した加工用レーザーの 8 分を入れている。光検出器は加工用レーザーがサンプルに集光照射した瞬間が把握できるようにするため設置している。

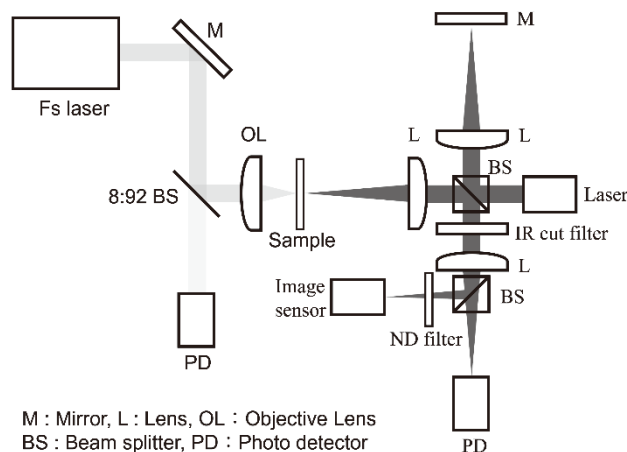


Fig.1 実験光学系

制作した振動計が正しく動作をするかを確認するために、サンプルにミラーを配置し、振動モーター(出力速度 12000RPM)を取り付けた。振動モーターを起動し、振動計で計測を行ったところ、Fig. 2, Fig. 3 が得られた。Fig. 3 は Fig. 2 をフーリエ変換することで得られた周波数スペクトルである。Fig. 3 より周波数は 145Hz でピークが立っていた。振動モーターの出力速度が 12000RPM(200Hz)であるため、規格より周波数が小さくなっていることがわかる。これは振動モーターをミラーに固定していることと、振動させた時の振幅が振動計の周期分より大きくならないようにかかる電圧を抑えているため、規格より周波数が低下したと考えられる。また、145Hz の高調波である、290Hz, 435Hz の周波数でも小さなピークが立っていることが確認できる。

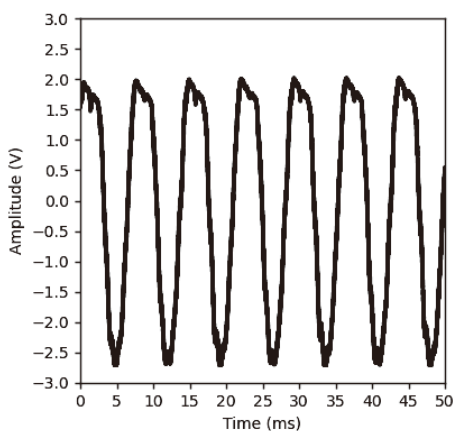


Fig.2 振動モーターの振動

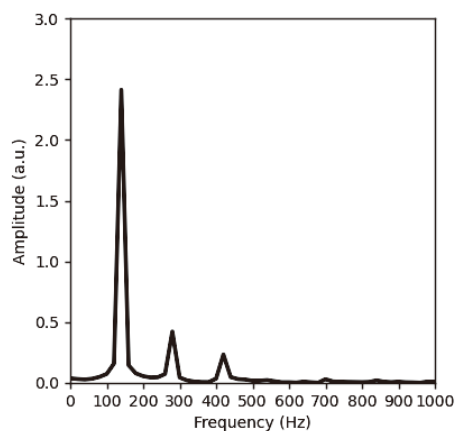


Fig.3 振動モーターの周波数スペクトル