



共同利用装置 ～ 超短パルスレーザー ～

機器利用技術班 上田 正

民間企業で約4年勤務したのち、2000年3月より分子科学研究所
分子制御レーザー開発研究センター。2009年4月より現職。

平成12年3月より分子研にお世話になり、超短パルスレーザーを担当してもうすぐ14年が経ちます。民間企業で4年弱勤め、分子科学とは全く無縁なところから転職してやっていけるか、不安であったことを思い出します。配属となったのは、分子制御レーザー開発研究センター（以下、レーザーセンター）、最初の仕事は中赤外域の波長可変ピコ秒レーザーシステムの立ち上げでした。分厚い台（除振台）の上に箱が並んでいる……チタンサファイアレーザー？ ピコ秒？ フェムト秒？ 差周波発生？？ 聞いたこともありません。そんな私を文字通り手取り足とり指導してくださったのが、当時のレーザーセンター長の藤井正明先生（現、東京工業大学）、助手であった酒井誠先生（現、東京工業大学）です。失敗あり、理解も不十分で大変なご面倒をお掛けしたことと思います。感謝に堪えません。その後、レーザーセンター長になられました松本吉泰先生（現、京都大学大学院）、助手であった渡邊一也先生（現、京都大学大学院）にも大変お世話になりました。フェムト秒レーザーの実験に携わり、赤外・可視和周波発生振動分光顕微鏡の立ち上げを任せて頂きましたことは、本当によい経験となりました。この時得られた知識や技術で、今でもレーザーの仕事が続けられると思っています。このレーターの紙面をお借りし、まずもって先生方に改めて深くお礼を申し上げます。

そして平成21年度より共同利用装置「ピコ秒レーザー」の担当として機器センターに異動となりました。その他に分光光度計も担当していますが、今年度からは、退職した技術職員に代わって急遽「高分解能透過電子顕微鏡（以下、TEM）」も担当することになりました。機器センターでは、装置の維持・管理が主たる業務となりますが、単なるオペレーター業務で終わることなく、調整・修理の出来るところは自らで行えるよう機器に対する知識を深め技術を磨いています。特にピコ秒レーザーについては、アンプと波長可変装置を備えた特徴ある大型装置で、性能を維持するだけでも労力と技術を必要としますが、レーザー単体を最良の状態にしておいても、そのままではご利用頂

けないのが実状です。そこで、このレーザーを使ってご利用頂けるようなシステムを2つ構築中ですので、紹介させていただきます。

レーザー全体を写真1に示します。チタンサファイアベースのアンプシステムで、波長可変装置（TOPAS：Travelling – wave Optical Parametric Amplifier of Superfluorescence）2台：紫外用、赤外用を備えています。TOPASのアウトプットに取付けるBBO結晶を取り替えることで、その2倍波発生、ポンプ光とシグナル光、或いはアイドラ光との和周波発生、シグナル光・アイドラ光の4倍波発生、更にはシグナル光とアイドラ光との差周波発生を得ることができ、紫外光250 nmから赤外光10 μmの広範囲に渡っ



写真1 ピコ秒レーザー

て波長を任意に出力できる仕様になっています。パルス幅は、自己相関法で実測し2～3 psです。

さて1つ目は、ピコ秒の過渡吸収測定ができるシステムです。機器センターを利用して頂いている先生からご提案頂き、また他の施設利用の先生からの利用希望もあって、色々ご教授を頂きながら整備しています。再生増幅器からの出力を2つに分けて、一方をディレイステージに通して白色光を発生させプローブ光に、もう一方を紫外用TOPASのSHS (Second Harmonic of Signal wave) によって可視光を取り出しポンプ光として、ポンププローブ実験を行うことができます。受光には、小型のスペクトロメータを用いていますが、将来的には高感度CCDマルチチャンネル検出器の導入も検討しています。今後は、機器センター長の大島先生の指導の基で整備を進めていくと同時に、フェムト秒レーザーも導入してより安定した過渡吸収測定システムの構築にも取り組んでいく計画です。ご興味ありましたら、是非声をかけてください。その他に超短パルスレーザーを使った実験のお考えをお持ちであれば、ご提案ください。レーザーの有効利用ため、出来る範囲で対応させていただきますと思っています。

もう1つは、レーザーを用いた精密微細加工システム(写真2)です。近年、パルス幅が短くピークパワーが高いレーザーは、多光子吸収による熱影響の少ない精密微細加工を実現できるツールとして急速に利用されるようになってきました。そこで、アンプを備えた高出力のピコ秒レーザーが加工にも利用できると考え、微細加工に高度な技術・技能を有する装置開発室主導で取り組んでいます。当初は、加工だから強いビームが出ていれば細かい調整

など必要無いだろう、と安易に思っていました。やってみるとそうでないことに気づかされました。ビームのプロファイルはとても重要でした。ビームを小さく絞るためのレンズの種類、置く位置、調整は分光用レーザーよりもシビアかもしれません。レンズで集光した場合に得られるスポット径は、教科書に従えば、波長を短く、焦点距離を短く、ビーム径を大きくすれば、より小さくできるはずですが、しかし実機で色々試してみた結果、レンズの収差の影響が大きいので、理論どおりにしない方がよいのではと思うようになりました。波長はさておき(倍波をとるとパワーが落ちるので)、レンズは焦点距離の短い対物レンズは使用せず、入射ビーム径はきちんと“細く”コリメートしています。メカニカルな部分は、装置開発室で考案、製作・購入しており、例えば試料の固定には吸着ステージを使用することで、試料が歪むことなく加工できるようにしています。それでも数10 μmの穴径が限界。そこでもうひと工夫を考え、適当な穴径のアパーチャーを適当な位置に設置しました(さらにビーム径を“細く”することになるのですが)。その結果、劇的に熱影響を抑えたきれいな小さい穴を加工できることが分かりました。調整不足ではありますが、厚み10 μmのステンレス製の板におよそ9 μmの貫通穴を一瞬(< 0.2秒)で開けることができました(写真3)。なお、アパーチャーを入れることは他でもやられていることを後から知りました……。情報収集の必要性を痛感しています。まだ実際にご利用頂けるレベルにありませんが、試料ステージのプログラミング制御によるレーザー描画(写真4)、内部加工やレーザー接合などへの応用も考えています。研究の現場で適用で



写真2 レーザー微細加工機

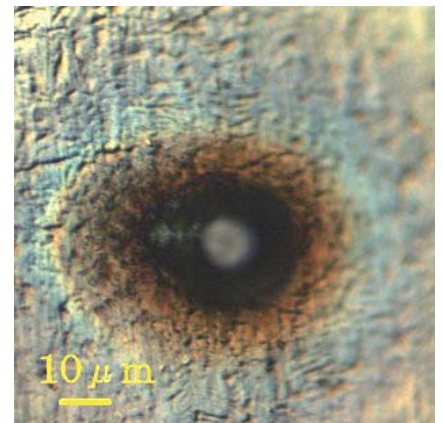


写真3 レーザーによる穴加工例



写真4 レーザー描画

分子研技術課

きるレーザー加工などございませんでしょうか？先生方からのご意見、ご要望、ご提案を頂ければ幸いです。なお、本システムの構築は、所長奨励研究費の支援を頂いて進めているものです。

本題から離れますがTEMも紹介させていただきます。といっても、現在（平成25年度）、通常運用しておりません。知識も経験もない全くの素人の私が昨年度末2週間ほどで引継ぎ、現在トレーニング期間を頂いているところです。分子研に来てレーザーを触り始めた時と同じように分からないことばかりで恥ずかしい思いをすることもしばしばです。試しにと、サンプルを持ってきてご教授下さる先生もみえ、大変有難く思っております。参考までに、**写真5**に実際に観測した金単結晶の格子像（1,000,000倍）をお示しします。依頼測定という利用形態ですので、得られる画像は担当者の私の腕次第です。来年26年度からは、所内利用・所外利用共にナノテクノロジープラットフォーム事業対応装置として通常運用に復帰することも決定しています。まだまだ勉強不足で高分解能のTEMを十分に使いこなせておりませんが、少しでもよい画像が撮れるよう努めて参りますので、どうぞご利用ください。

こうしてTEM担当という大役と、レーザーを用いたシステムの構築と「二刀流」といったところですが、どちらも二流で終わらないようがんばっていきたいと思います。新しいことを初めると思うように進まず大変なことも多いですが、その分、発見や問題を乗り越えた時の感動も大きくやり甲斐もあります。しかしながら、技術職員「個」の力だけでは、その取っ掛かりをつかむこともシステム構築を進めることも困難です。例えば、施設の枠を越えてそれぞれが得意とするところで連携して取り組んでいくことは、技術課としても強く推進していることで、上述のレーザー加工技術がその例になります。また、上述のピコ秒過渡吸収測定システムにおいても、先生方の後押しがあって進めることができています。こうして考えると、技術職員は研究者と密接に関わり教えて頂くことで、知識や技術力を向上させていると思います。私の場合は、先生方に教えて頂き技術を得て「今」がありますから特にそう思います……。その技術をもって、分子研のために、機器を利用される先生方のために「倍返し」（もちろん良い意味で）で研究支援という職務を全うしていきたいと思います。

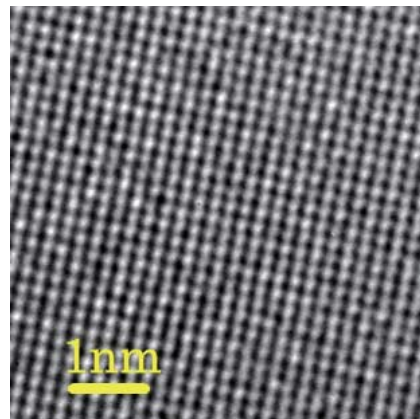


写真5 金単結晶の格子像