

コヒーレント加算型ダイヤモンドテラヘルツ放射源の開発

電子工学科 米田研究室 長谷川和哉 (9912101)

1 はじめに

これまで KrF レーザー (248.5nm) をダイヤモンドに照射しスイッチング動作をさせ、THz 光源を得るといった研究が行われてきた。その電磁波は光の波長と電波の波長の間であり、これまで強い光源が得られない周波数帯の物理解明に大きな役割をはたしている。THz 電磁波の電界はダイヤモンドの印加電界を超えることはできないため、印加電界を大きくすることで高出力な THz 電磁波を取り出すことができる。ダイヤモンドは他の素子と比べ 1 桁以上大きい 10^6V/cm 程度の電界を印加することができ、本研究室では 1~2mJ、300fs の KrF レーザーを用い、 10mm^2 から 10nJ の集光エネルギーを得てきた。

一方で、コヒーレント加算により THz 波の高出力化を行うという方法が提案されてきた。過去の研究によると、2 本のビームをダイヤモンドの別々の領域に照射し、方向、位相 (ピコ秒単位) をあわせることで、その領域より放射された THz の別々の波はコヒーレント加算され 1 つの波になるという結果が得られていた (図 1.1 参照)。2 つの波が 1 つの波になるということは、電界が 2 倍になれば、単純計算ではあるが出力は 4 倍になる。そこで本研究では、6 本のビームを別々の領域に照射し、さらなる THz 電磁波の高出力化を最終的な目標としている。

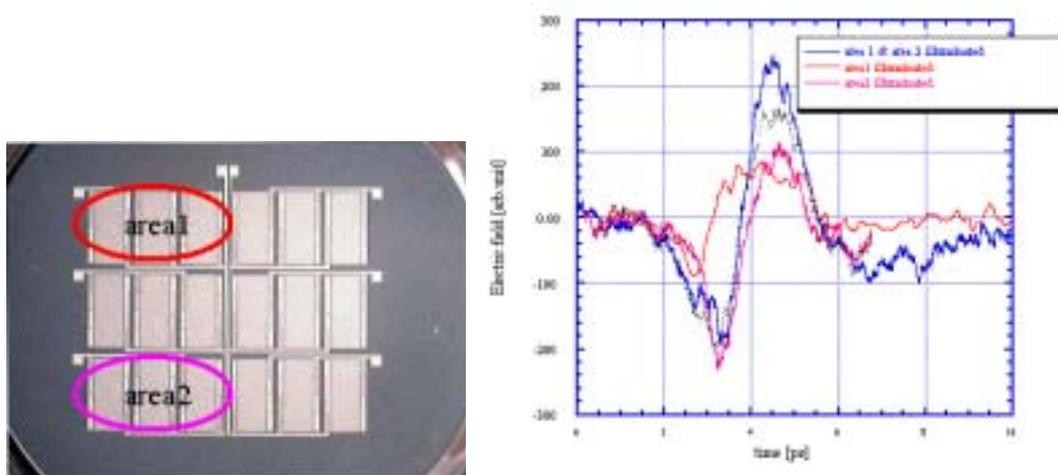


図 1.1 THz 電磁波のコヒーレント加算

2 全体概念

2.1 ダイヤモンド THz のコヒーレント加算

以前の研究において別々の領域から発生した THz 電磁波のコヒーレント加算が確認されている。(図 2.1、図 2.2 参照)これは、セグメント化されたダイヤモンド光伝導素子の area1 と area2 を別々のレーザーで照射し、そこからの THz 波が加算された結果である。また、このコヒーレント加算には二つのパルスの時間を数ピコ秒の単位で制御しなければならないことが分かる。この方法を参考にし、6本のビームで同じようにコヒーレント加算が行われれば、さらに高出力な THz 電磁波が期待できる。

しかし、一本のビームで領域全体を照射した方がパルスのタイミングを合わせる必要がなく、コヒーレント加算を容易に行うことができるはずである。この後で何故6本のビームで別々に照射する方法を選択したのかを述べる。

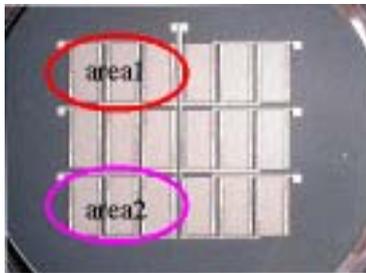


図 2.1 セグメント化されたダイヤモンド

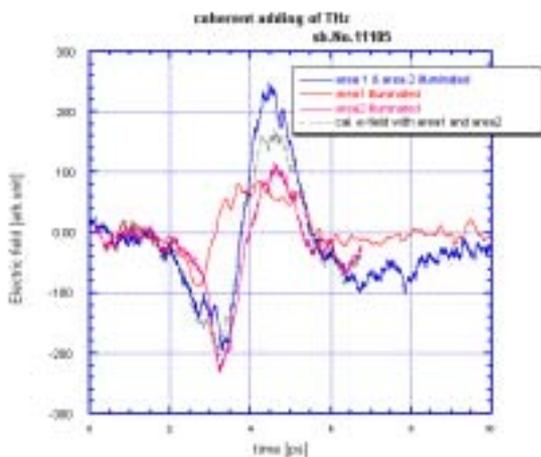


図 2.2 THz 波のコヒーレント加算

2.2 KrF レーザー増幅器

単ビームでセグメント化されたダイヤモンド全体 (3cm × 3cm) を照射してスイッチング動作させるには、今までの数 100 倍のエネルギーが必要になる。しかし、KrF は $2\text{mJ}/\text{cm}^2$ と低い飽和フルエンスのために、大口径のビーム径にしなければならない。そのためには大規模な増幅システムが必要となってしまふ。また、ダイヤモンドの必要のない部分も照射することになり、単ビーム照射は得策といえない。

2.3 エキシマー寿命

KrF のエキシマー寿命は約 2ns と短い。フェムト秒のパルスを一本だけ入れた場合には、そのパルスが通過した後も反転分布が形成されることになり、エネルギーが無駄となってしまふ。しかし、時間的にパルスを連続に入れた場合には、一つのパルスが放電管を通過した 2ns 後にまた反転分布が形成され、その後通過するパルスを再び増幅させることができる。このように効率良くエネルギーを引き抜くことができるということも、マルチビーム方式を選択した理由のひとつである。本研究では、エキシマー寿命の 2ns を考慮し、時間間隔 2ns のパルス列にして 6本のビームを増幅させる。

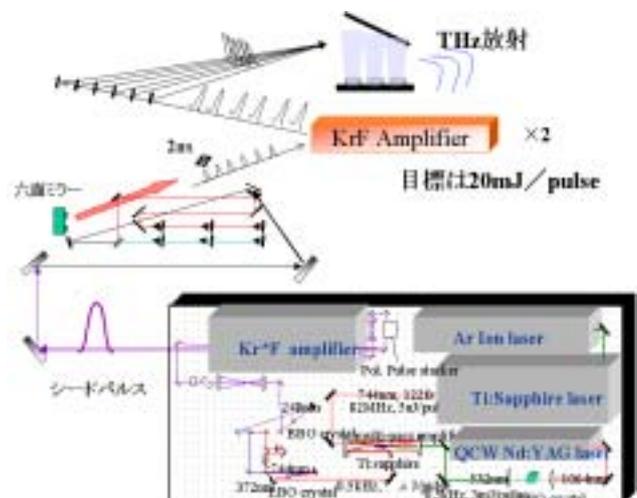


図 2.3 本研究の全体像

2.4 全体像

本研究の全体像を図 2.3 に示す。Ti : Sapphire レーザー(744nm)の第 3 高調波を KrF Amplifier で増幅させ、そのビームを 6 分割して 2ns のパルス列にし、また別の KrF Amplifier で増幅させる。その後時間遅れを元に戻すデコーダ光学系を組み、ダイヤモンドに照射して THz 波のコヒーレント加算を行うという方針である。以降、この KrF を KrF₁、本研究で用いる KrF を KrF₂ と区別する。

3 光学系

本研究には、ダイヤモンドに KrF レーザーを別々の領域に照射し、それらの領域より放射される THz 電磁波をコヒーレント加算する、という最終的な目的がある。そのために、ビームを 6 本にわけ、そのビームをそれぞれ増幅する必要がある。もちろん、集光性を保持するためにビームパターンもきれいにし、また、1 パルス当たりのエネルギーも引き出さなければならない。図 3.1 に、実験で使用された KrF レーザーシステムの概図をのせる。OSC と AMP の 2 つの放電管から構成されており、ビームを往復させて増幅させる。一般に、入力パルスのビーム径が小さいと高い出力を得ることができない。そのため、放電管内ではレーザーのビーム径を大きくしたほうが、高利得を得ることができるため、このことを考慮に入れる必要があった。

3.1 レーザーシステムの改造

細長い放電管を少しでもビームが通りやすくなるように放電管の出入り口を加工した。このことにより、放電管の端にビームが当たってしまうという事を防ぐことが可能となった。(図 3.2 参照)

3.2 6 面ミラー設計

50 のミラーを切り、ミラーとミラーをぴったりくっつけることで 6 本のビームの相対的な角度を小さくした。このことで、ビームを放電管に通

しやすくなった。(図 3.3)

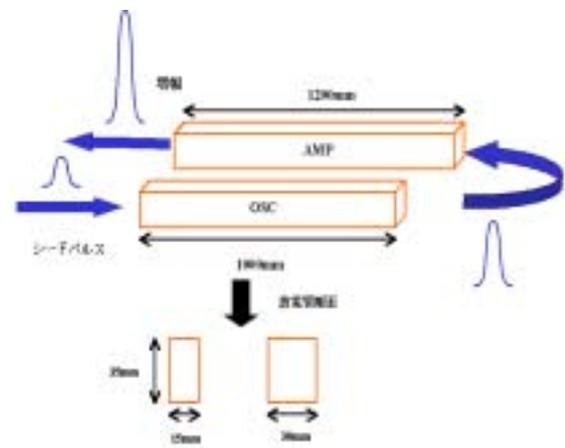


図 3.1 KrF 増幅システム



図 3.2 放電管窓改造後



図 3.3 6 面ミラー

3.3 ASE 対策

ASE を抑制するため、入力フルエンスによって透過率の変化する可飽和吸収体を持ちいて、ASE を抑制した。

3.4 光線追跡

OSC 放電管にビームを通すのは 3.1、3.2 より容易になったのだが、折り返し AMP 放電管を通すのが困難であった。そこで、シミュレーションによる光線追跡を行った。その結果を図 3.4 に示す。OSC 放電管の出口で 6 本のビームがオーバーラップし、その後また AMP の出口でオーバーラップしている。そして、その後デコーダ光学系を組むためにビームが離れていく。また、大きい利得を得るために AMP 内ではビーム径が大きくなるようにした。今現在は、実際にこの光学系に沿って光学系を組んでいる。しかし、デコーダ光学系に関しては、空間的な理由から苦戦しているところである。

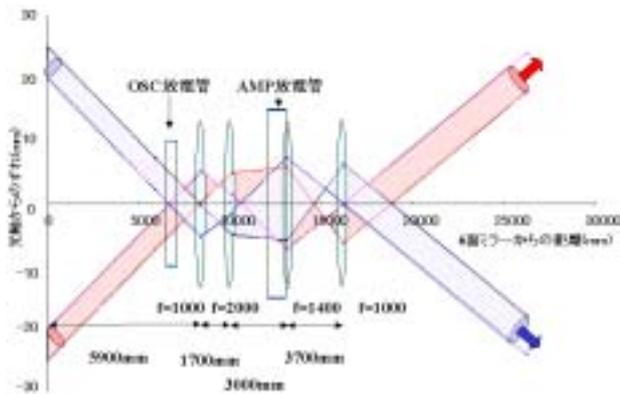


図 3.4 シミュレーション結果

4 増幅

本研究で用いられた KrF は 10Hz までしか駆動させることができないため、KrF を駆動させている信号 (10Hz) を 1/4 に分周して用いた。

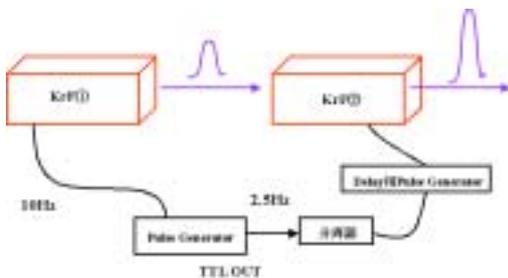


図 4.1 同期系

入力パルスが、KrF エキシマーが存在している間に放電管内を通過しなければパルスの増幅は

起こり得ない。このために、OSC の ASE (自然放光) とパルスの通過とのタイミングを Delay 用 Pulse Generator を用いて合わせた。AMP と OSC の放電タイミングは、AMP のガス圧を変化させることでずらした。AMP を抜けたところでの最終的なエネルギーは、5.5mJ / pulse、ASE は 0.5mJ であった。パルス幅は pulse~500fs、ASE ~20ns のため、ASE は応用上問題とならないと考えられる。

5 集光性能

ビームパターンをみるために、AMP からビームが出てきたところに $f = 3322$ のレンズを置き、ビームの最小径の位置にカバーガラスをおきガラスの蛍光を観測した。結果、最小ビーム径は回折限界の約 4 倍程度に抑えられていることが分かった。

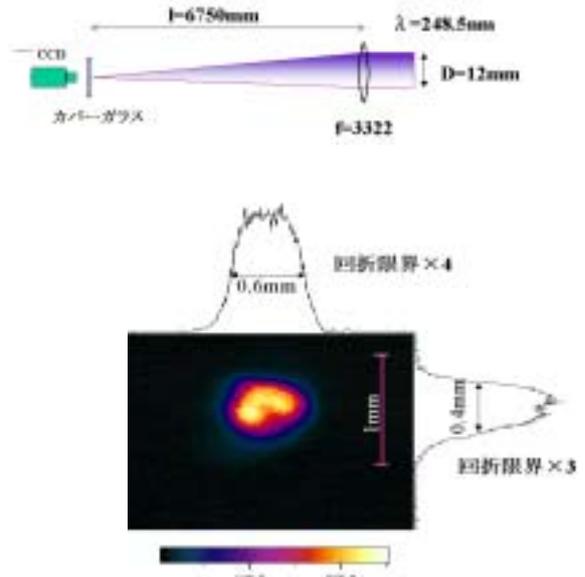


図 5.1 観測したビーム径

6 まとめ

空間フィルタによる光学系を組み、5.5mJ / pulse、ASE ~ 0.5mJ という増幅結果、回折限界の 4 倍程度の集光性能が得られた。今後は、実際の使用に向けてビームパターンの改善が課題となってくる。