

超短パルス電子回折実験用電子源の開発

0512036 川西淳介 米田研究室

1. はじめに

本研究では、固体とプラズマの中間の領域である、Warm Dense Matter の物性データを計測するための超短パルス電子回折をテーマとして扱っている。

Warm Dense Matter とは固体とプラズマの中間の領域であり、その密度は固体と同程度から十分の一程度、温度は数千から数万 K 程度である。

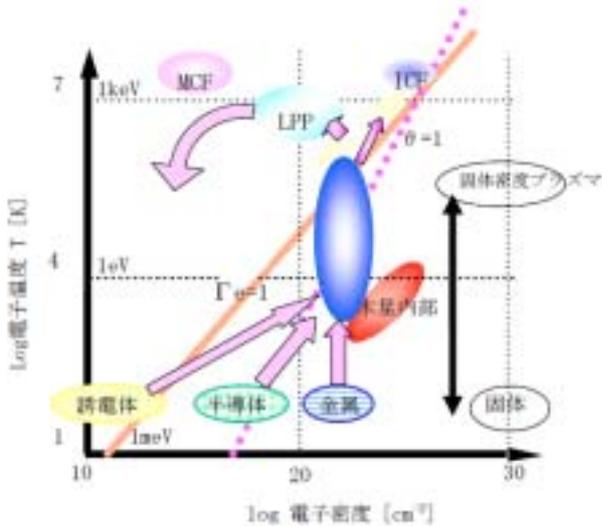


Fig.1 物質の様々な状態の分類^[1]

固体の物性については固体物理学 (Solid State Physics) が、プラズマの物性についてはプラズマ物理学 (Plasma Physics) が高い完成度で存在し、積み上げられた研究成果から物性計算を行うことができる。しかし、Warm Dense Matter はどちらの物理モデルを用いても完全に説明することはできない。また、Warm Dense Matter の実験データはまだ十分に出揃っていないとは言えず、今後の実験に期待するしかない

状況である^[1]。本研究では、Warm Dense Matter の測定データを、表面の原子の動きを直接観測できる方法として、超短パルス電子回折による測定を提案する。超短パルス電子回折とは、原子レベルの分解能並びにフェムト秒(fs)レベルの時間分解能で物質の表面を測定できる方法であり、現在、X線回折にかわる方法として、注目されている。

超短パルス電子回折とは、原子レベルの分解能並びにフェムト秒(fs)レベルの時間分解能で物質の表面を測定できる方法である。現在、内殻の励起が可能であり、Thomson散乱などで電子温度・電子密度などの計測が可能なX線やVUVによる測定が行われている。これとは異なるアプローチとして、電子回折が原子を直接観測する方法として注目されてきている。この電子源に長短パルスレーザーを用いた光電効果を用いることにより、fsオーダーでの時間分解能を得ることも可能である。

本研究では、超短パルス電子回折システムの開発を行うことを目的とする

2. 原理

・電子数の測定

超短パルス電子回折を用いれば、fsオーダーという短い時間分解能でターゲットを測定することができる。この方法において、短い時間分解能を維持するためには、電子数を少なくしなくてはならない。仮に、電子数を多くしてしまうと、電子間にクーロン力が働き、電子線パル

ス幅が広がってしまう。しかしながら、電子数を少なくすると、今度はシャープな回折像が得られなくなってしまうという問題が出てくる。こららの問題を解決するには、1パルス当たりの電子数を6000個にすれば良いことが分かっている^[2]。

電子源の供給する電子数は、その膜圧と、レーザーの強度及び波長に依存する。その際、電子数の測定にはMCP等の電子を視覚的に測定する方法が一般的である。それに対し、本研究では、膜厚及び波長を一定にし、レーザーの強度のみを変化させ、その上で電子源から電子を受け取る電極とアース間の電流値を数pA程度までの微小電流として測定することにより電子数を求めるシステムを作製した。

電子1つの持つ電荷 q は、 1.602×10^{-19} [C]である^[3]。これを電流に直すと、1Aで1秒間にある面を1Cの電荷が通過するので、電子1つでは、 1.602×10^{-19} [A]となる。

本研究では、このことを利用し、電子源から出てきた電子を電流としてとらえ、それを計測することで、電子源を評価することにした。

・多光子吸収

本研究では、電子源として酸化しにくい物質である金を用いた。

電子は電子源にレーザーを照射し、光電効果により出てきた電子を用いるのだが、その際、金が光電効果を起こすためには、266nm以下の波長を持つレーザーを照射しなくてはならない。しかし本研究では、これよりも長い波長のレーザーを照射し、多光子吸収により光電効果を起こして電子を得ることにした。

多光子吸収は、レーザーの強度が高いときに起こるため、得られる電子線のパルス幅が、照射

した超短パルスレーザーよりも短くなると期待できる。

3. 実験方法

・電子源の作成

本研究では、合成石英基盤の上に、蒸着器で金を蒸着したものを作りそれを電子源とした。

この際、均一な厚みの蒸着膜を得るため、基盤は150℃に温めながら蒸着を行った。



Fig.2 蒸着器

また、蒸着膜の厚みの均一さをエリプソメーターで測定した。以下に示す Fig.3 はその結果である。

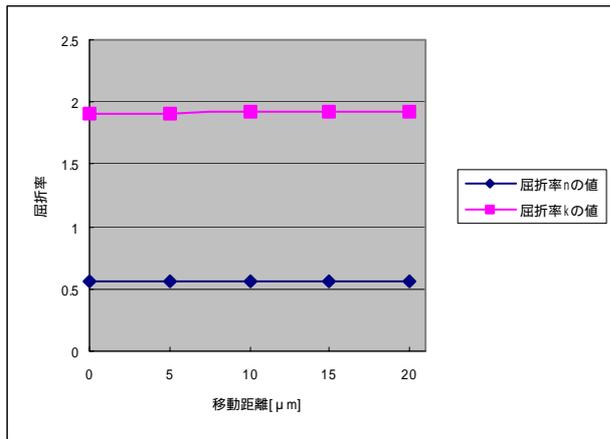


Fig.3 エリプソメーターによる測定結果

上図より、均一な厚みの蒸着膜が得られたことがわかった。

・電子数の測定

上で作製した電子源を、以下の Fig.4 に示す実験装置にセットした。

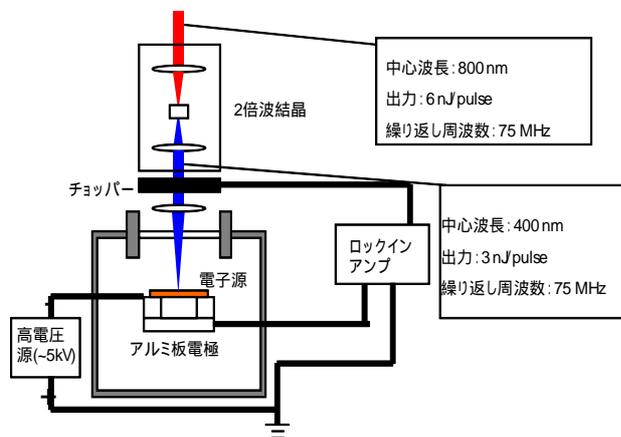


Fig.4 実験装置

チャンバー内の圧力を 5.0×10^{-6} [Pa]まで下げ、電子源としては、蒸着器で作製した 10nm の金薄膜試料を用いた。この装置は、電子源 アルミ板間に 1.7 kV の電圧をかけて電子を加速し、アルミ板が受け取った電子がアースにおちる間の電流を測定することにより、電子数を測るも

のである。

この装置は、ノイズを極力排除し、数 pA の電流まで計測できるようになっている。

4. 結果

均一な膜厚の金を蒸着した電子源を作製し、膜厚 10 nm において、波長 800 nm および 2 倍波結晶を通した波長 400 nm という 2 種類の波長の超短パルスレーザーを集光して電子源に照射することで得られた電子数のグラフを Fig.5 に示す。

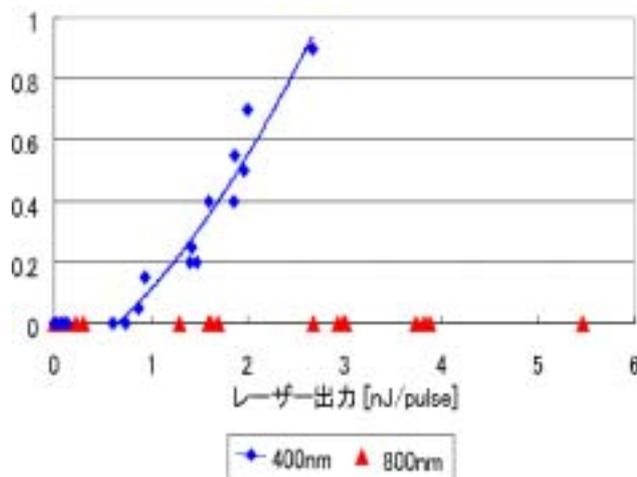


Fig.5 レーザー出力に対する出力電流値測定結果

金の吸収波長は仕事関数が 4.7 eV なので、260 nm 程度であるため、電子の励起には波長 800nm では 3 光子吸収が、波長 400 nm では 2 光子吸収が起こることが必要となる。図 1 に示した結果から、電子源において、レーザーの波長を 2 倍波結晶で半分の波長 400 nm にすると、強度も半分程度になるが、2 光子吸収を起こし、パルス幅 50fs、周波数 75MHz、強度 3 nJ/pulse の超短パルスレーザー照射に対し、10nm の金の蒸着膜からは、強度 0.6 nJ/pulse

で2光子吸収が起こり始め, 3 nJ/pulse で 0.9 pA の電流値が得られ, 波長 800 nm では出なかった電子が出ることが確認できた.

4. 評価

電子線パルス幅が 200 fs の電子線パルスにおいて, 電子数が 6000 個以下ならば, パルス幅を広げずに 150 μm のスポットまでフォーカスすることができる^[2].

これを, 繰り返し周波数 75 MHz のレーザーで得た場合, 電流値に直すと, 72 nA になる.

これに対し, 今回得られた電子の電流値は, レーザー強度 3 nJ/pulse, 0.9 pA であり, スポット径は 100 μm を仮定した.

すなわち, ビーム径 28.3 mm, 240 $\mu\text{J/pulse}$ の超短パルスレーザーを用意し, 10 nm の金が蒸着された電子源にそのまま照射すれば, 超短パルス電子回折に必要な電子線パルスを得ることができる.

5. まとめ

以上の結果及び評価より, 金薄膜を用いた超短パルス電子回折実験用電子源を開発した. この電子源に 3 nJ/pulse, 波長 400 nm, パルス幅 50 fs の超短パルスレーザーを集光することにより, 0.9 pA の電流を観測し, 2光子吸収の発生が確認できた.

また, 240 $\mu\text{J/pulse}$ の強度を持つ超短パルスレーザーを 28.3mm のスポットに照射することで, 必要な電子数 6000 個をもつ電子線パルスを得ることができることがわかった.

6. 今後の予定

まず, 均一な厚みの蒸着膜であるが, 今の段階では, 十分なものが出来ていると考えられる. しかし, もともと合成石英と金はくっつきにくく, 今回つくったものは, 基盤である合成石英の板の上に, 金の蒸着膜が乗っているだけという状態である. 今後さらに, この点を改良すべく, 基盤と金の間に, 接着剤となるタングステン等の物質を挟んだものを作製, 及び評価すれば, より長持ちする電子源が作製できる^[9].

また, 電子数の評価だが, 今回, 6000 個の電子を得るには 28mm 程度のスポットが必要であるが, これは少々大きいので, もっと小さいスポットでも十分な電子が得られる方法を模索する.

参考文献

- [1] <http://www.ils.uec.ac.jp/~yoneda/>
- [2] J. Cao, Z. Hao, H. Park, C. Tao, D. Kau, and L. Blaszczyk APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 83, NUMBER 5(2003)
- [3] 電子デバイス工学 古川静二郎/荻田陽一郎/浅野種正 共著 森北出版株式会社