

論文審査の結果の要旨

氏名 石澤 淳

本論文は 7 章からなり、その内容は、固体界面プラズマからの高次高調波発生メカニズムを解明するという観点から (1) 5 次高調波(211nm)までの観測を進め、レーリー・テラー不安定性による空間分布指向性の遷移、(2) パルス幅及び偏光依存性、(3) ダブルパルス励起による高効率発生、更に (4) 高調波のブルーシフトの研究からなる。

第 1 章では、高次高調波発生メカニズムとその研究背景について述べている。第 2 章では、本研究で使用した実験装置の説明を行っている。最も重要なのは第 3 章以下である。

第 3 章では、高次高調波空間分布について述べる。CPA Nd:Glass laser (パルス幅 2.2 ps) を使用し、 75° の入射角度でアルミ蒸着ターゲットに $3 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{15} \text{ Wcm}^{-2}$ の強度で照射した場合に発生する高調波の divergence を初めて定量的に観測し、3~5 次高調波の divergence が励起レーザーの絞り角とほぼ同程度で発生し、高調波の横モードは励起レーザーの横モードに良く一致している。励起レーザーの照射強度を 10^{14} Wcm^{-2} から増していくと、指向性良く反射方向に発生していた高調波の divergence は徐々に大きくなり、 10^{17} Wcm^{-2} の照射強度では、ほぼ等方的に発生していることを定量的に確かめた。さらに、高次高調波空間分布のパルス幅依存性について観測から、パルス幅の短い場合に高調波は指向性が良い事を見いだした。この原因は臨界電子密度界面でのレーリー・テラー不安定性による可能性がある。

第 4 章では高次高調波の励起レーザー偏光依存性について述べる。パルス幅 2.2 ps ガラスレーザーを使用し、照射強度が $3 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{15} \text{ Wcm}^{-2}$ で発生する高調波は、励起レーザーの偏光が P>S>円偏光、の順に強く、P 偏光入射の場合は S 偏光入射の場合より約 2 倍であった。サブピコ秒励起レーザーを使用し、照射強度を $1 \times 10^{17} \text{ Wcm}^{-2}$ から徐々にあげていくと、励起レーザー偏光依存性が小さくなる。この原因、レーリー・テラー不安定性による臨界電子密度界面におけるリップリングの影響が自発磁場によるファラデー効果より大きい事による。

第 5 章では、高次高調波の変換効率について述べる。パルス幅 2.2 ps ガラスレーザーをシングルパルス励起で 6×10^{14} から $1 \times 10^{17} \text{ Wcm}^{-2}$ まで上げ

たとき、3～5 次高調波の変換効率は 2、3 桁と増加することが分かった。異なるパルス幅 2.2 ps と 100 ps の励起レーザーを使用した場合、高調波の変換効率はパルス幅 2.2 ps の方が高いことが分かった。これはパルス幅が短い方がより急峻な電子密度勾配が形成され、自由電子運動の非線形性が高くなるからである。HYADES コードと PIC シミュレーション結果から、パルス幅 2.2 ps 励起レーザーを用いた方が高調波発生効率は良い。

次に、パルス幅 2.2 ps ガラスレーザーのダブルパルスの時間差が約 5 ps で照射した場合、3 次高調波強度は約 2～3 倍増加することを確認した。4、5 次高調波についても同様に高調波強度の増加を確認し、急峻な電子密度勾配で発生していると考ええる。一方、強度比が 0.004 は、0.04 の場合よりも高調波強度の増加が小さい。そこで HYADES コードを使い、本実験で生成される電子密度勾配長を数値計算で求めた。ダブルパルス時間差が長くなると電子密度勾配長も大きくなることから、高調波高効率生成に電子密度勾配長が強く依存していることを確かめた。

第 6 章では、高次高調波のブルーシフトについて述べている。サブピコ秒励起レーザー $2 \times 10^{17} \text{ Wcm}^{-2}$ の照射強度で 2 次高調波は 16 Å、5 次高調波は 51 Åブルーシフトしていることを観測した。このブルーシフトは励起レーザーの基本波長のドップラーシフト以上に大きいため、プラズマの hydrodynamic motion によっては説明が付かない。1 次元流体コード HYADES で計算した界面の電子温度は 800 eV 以上であり、collisionless absorption の状態となっている sheath がブルーシフトに寄与していると考えられる。

本研究は実験と数値計算により、固体界面プラズマからの高次高調波生成の物理に関する研究を行い、プラズマ界面や電子挙動の情報及び、高強度レーザー・プラズマ相互作用に関する新しい物理を開拓した。

なお、本論文第 3 章は、稲場和彦、金井輝人、尾崎恒之、黒田寛人氏、第 4 章は、稲場和彦、金井輝人、尾崎恒之、黒田寛人氏、第 5 章は、稲場和彦、金井輝人、尾崎恒之、黒田寛人氏、第 6 章は、R.A. Ganeev、金井輝人、尾崎恒之、黒田寛人氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行なったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。