

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 Amany Moustafa Gouda

論 文 題 目

Plasma Simulation Analysis for Formation Mechanism of Periodic  
Nanograting Structures by Laser Pulses

(レーザーによる周期的ナノ構造の形成機構に関する  
プラズマシミュレーション解析)

## 論文審査担当者

主 査 自然科学研究機構核融合科学研究所（理学研究科 客員教授）

	教 授 工学博士	坂 上 仁 志
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授 理学博士 杉 山 直
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授 博士(工学) 寺 崎 一 郎
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授 博士(理学) 渡 邊 智 彦
委 員	京都大学化学研究所	准教授 博士(工学) 橋 田 昌 樹

## 論文審査の結果の要旨

高強度フェムト秒レーザーを固体表面に繰り返し照射すると、レーザー波長よりも短い格子間隔を持つナノ周期構造が、構造の種となる表面の揺らぎが全くなくても自己組織的に形成されることが実験的に示されている。しかし、その形成過程は、多くの機構が提案されているものの完全には解明されておらず、表面状態を時空間的に十分に解像して観測することも困難であるため、その機構モデルは検証されていない。一方、この構造形成には、レーザーをアブレーション閾値より高いフルエンスに調整する必要があるため、アブレーションプラズマとレーザーの相互作用が重要だと考えられる。このため、ナノ周期構造の形成機構を電磁粒子コードによるレーザープラズマのシミュレーション研究により解明することは、重要な研究課題となっている。

申請者は、まず、臨界密度の 10 倍の高密度プラズマを仮定し、アブレーションプラズマを模擬するために臨界密度以下のプラズマをその手前に置き、相対論的な強度を持つレーザーを照射してシミュレーションを行った。その結果、高密度プラズマの表面に周期的な突起部が生成され、これがレーザー偏光面に平行な波数ベクトルを持つナノ周期構造に成長することを示した。そして、シミュレーション結果を詳細に解析し、レーザープラズマ相互作用で生成された高エネルギー電子が、高密度プラズマ中を伝播してワイベル不安定性を誘起し、そのために形成された磁場と電子電流の特徴的な構造により、ナノ周期構造が形成されることを明らかにした。

次に申請者は、より実験条件に近い、非相対論的な強度のレーザーを用いて同様のシミュレーションを行った。その結果、ワイベル不安定性による構造は形成されないが、高密度プラズマが拡散により噴き出した部分の表面に、レーザー波長より短い間隔を持つ周期的な構造が形成されることを示した。そして、シミュレーションで得られた電子密度分布と理論モデルを用いて、双方向に伝播する表面プラズマ波が作る定在波に起因するポンデロモーティブ力により、微小な周期的な擾乱が形成されることを示した。さらに、振動型二流体不安定性の成長率を理論的に計算して求め、その周期的な擾乱が、振動型二流体不安定性によって十分に成長し、ナノ周期構造の形成に至ることを明らかにした。

これらの成果は、電磁粒子コードを用いたシミュレーション研究により、プラズマ表面に生成されるナノ周期構造の形成機構について、照射レーザーの強度が相対論的な場合にはワイベル不安定性が、非相対論的な場合には表面プラズマ波と振動型二流体不安定性が、重要な役割を果たすことを明らかにしたものであり、高く評価される。

以上の理由により申請者は、博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。