HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	複合量子ビーム同時照射による表面ナノ構造構築とその光学特性に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	于, 睿譞
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12309号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61881
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ruixuan_Yu_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　于 睿扯

審査担当者　主　査　教　授　柴山 環樹
副　査　教　授　渡辺 精一
副　査　教　授　大沼 正人

学位論文題名

複合量子ビーム同時照射による表面ナノ構造構築とその光学特性に関する研究
(Surface Nanostructures and Their Optical Properties Induced by Multi-Quantum-Beam Co-irradiation)

近年、貴金属ナノ粒子を誘電体に分散することにより発現する局在表面プラズモン共鳴 (Localized Surface Plasmon Resonance, LSPR) の特性を示す指標の一つである吸収ピーク波長を制御する研究が行われている。貴金属ナノ粒子を半導体や誘電体基板上に規則的にあるいは周期的に分散することによって特異な特性を持つことが期待されており、工学的に成立するためには、簡易的な低コスト作製技術が求められている。そこで、短パルスレーザー照射によるレーザー照射誘起周期的表面ナノ構造 (Laser Irradiation Induced Periodic Surface Structure, LIPSS) と Meng らによって見出されたイオン照射誘起 solid-state dewetting による半導体や誘電体基板上の貴金属薄膜のナノ粒子化に着目し、ナノ秒パルスレーザー照射とイオン照射を組み合わせることによって量子ビームの相乗効果を利用し、誘電体基板上の貴金属薄膜のナノ粒子化と量子パターン形成を同時に行う革新的な手法を着想するに至った。そこで、本研究では、複合量子ビーム照射による誘電体基板上の貴金属薄膜のナノ粒子化と LSPR 特性との相関について表面や断面の微細組織や構造解析を走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) や透過型電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope, TEM) により行うと共に、イオン加速器を連結したマルチビーム超高圧電子顕微鏡にナノ秒パルスレーザーを追加し、複合量子ビーム超高圧電子顕微鏡を開発して、複合量子ビーム照射下でのナノスケールの微細組織変化についてその場観察を行い、表面ナノ構造化の機構について明らかにすることを目的とした。本論文は六章で構成されており、以下に各章の概要を述べる。

第一章では、本研究の背景について述べるとともに目的について述べる。

第二章では、大気中にて金薄膜/SiO_2 ガラス基板にナノ秒パルスレーザーを照射した結果、ナノ秒パルスレーザーの照射パルス数が増加するに従い、SiO_2 ガラス基板表面に金ナノ粒子がレーザーの電場ベクトルと垂直あるいは平行な方向に周期的に配列し LIPSS を形成するこ条件を見出した。よって、本手法により周期的に貴金属ナノ粒子を分散した量子ナノ構造を誘電体基板上に作製し、LSPR を示すことを明らかにした。

第三章では、真空中にて金薄膜/SiO_2 ガラス基板の表面にナノ秒パルスレーザー照射とイオン照射を組み合わせた複合量子ビーム照射を行い、誘電体基板上の貴金属薄膜のナノ粒子化と量子パターン形成を同時に行う革新的な手法について検討を行った。その結果、ナノ秒パルスレーザーと 100 keV の Ar^+ イオンを同時に照射する場合にのみ周期的表面ナノ構造が形成したことから、複合量子ビーム照射により LIPSS の形成を促進すると考えられる。更に、LSPR の可視光の吸収ピーク

波長は金ナノ粒子の平均サイズに依存する量子効果を示したが、複合量子ビーム照射により LIPSS が形成した場合のみ、金ナノ粒子の平均サイズが増加しても短波長側へブルーシフトする特異な局在表面プラズモン効果を示すことを初めて明らかにした。これは、LIPSS 形成により金ナノ粒子の相対間隔の違いから電荷の不均一分布と関係があると考えられることから、局在表面プラズモン共鳴を応用した光学デバイスの開発が期待できることを示した。

第四章では、複合量子ビーム超高圧電子顕微鏡によるその場観察実験から、金薄膜がナノ秒パルスレーザー照射により表面張力の不安定性により、金薄膜の結晶粒界近傍におけるホールの形成や金ナノ粒子の離合集散やオストワルド成長する dewetting の初期過程を初めて確認すると共に複合量子ビーム照射下の LIPSS 形成の促進を再現した。

第五章では、球面収差補正走査透過型電子顕微鏡 (Spherical aberration corrected Scanning Transmission Electron Microscope, Cs-STEM) と電子エネルギー損失分光 (Electron Energy Loss Spectroscopy, EELS) を用いて金ナノ粒子/SiO_2 ガラス基板界面における表面プラズモンを分析し離散双極子近似 (DDA) 法による計算機シミュレーションと比較検討することによってそのイメージングが可能であることを示した。

第六章は、本研究の総括である。

これを要するに、著者は、複合量子ビーム同時照射におけるナノ秒パルスレーザーとイオンビームの相乗照射効果によりナノ粒子形成や周期的ナノ構造を形成する条件を見出し表面ナノ構造構築に関する新知見を得たものであり、局在表面プラズモン共鳴を応用した光学デバイス開発へ大きく寄与し、量子ビーム科学や材料科学の進歩に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。