HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | Ion beam surface nanostructuring of metallic thin films on dielectric substrates and their optical properties [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review] |
| Author(s) | 蒙, 萱 |
| Degree Grantor | 北海道大学 |
| Degree Name | 博士(工学) |
| Dissertation Number | 甲第11129号 |
| Issue Date | 2013-09-25 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/53860 |
| Rights(URL) | https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/ |
| Type | doctoral thesis |
| File Information | Meng_Xuan_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　蒙　萱

審査担当者　主　査　准教授　柴山 環樹
副　査　教　授　佐々木 浩一
副　査　教　授　古坂 道弘
副　査　教　授　渡辺 精一

学位論文題名

Ion beam surface nanostructuring of metallic thin films on dielectric substrates and their optical properties
(イオンビームによる金属薄膜/誘電体表面のナノ構造化とその光学特性)

局在表面プラズモン共鳴を応用した光学デバイスの実用化のためには誘電体表面に均質な貴金属ナノ粒子を堅牢かつ均一に分散させると共に用途に応じた局在表面プラズモン共鳴の波長を制御出来る事が重要である。中でも、イオン照射を利用し貴金属ナノ粒子を誘電体基板表面に形成する方法は、従来の化学的手法に比較して、光学特性に与える影響が少ないことから近年注目されている。しかしながら、イオン照射によって形成する貴金属ナノ粒子の微細構造や誘電体基板の種類やその結晶構造と局在表面プラズモン共鳴の波長との関係は未だ明らかでなく、化学的手法では可能な局在表面プラズモン共鳴の波長の制御も難しかった。そこで、著者は、金薄膜を蒸着したアモルファス $SiO_2$ 基板に $Ar^+$ イオンを照射することによって照射誘起による dewetting 現象にて基板表面に形成するナノ構造とイオン照射量の関係を走査型電子顕微鏡や透過型電子顕微鏡を用いてナノスケールの微細構造解析を行い、基板表面に形成したナノ構造が吸収スペクトルに及ぼす影響について調べた。また、金と銀の合金をアモルファス $SiO_2$ や単結晶 $Al_2O_3$ 基板表面に蒸着し 100keV の $Ar^+$ イオンを照射することによってこれまで困難であった局在表面プラズモン共鳴の波長制御を試みると共に基板の種類や結晶構造による影響を調べた。

先ず本研究では、$Ar^+$ イオン照射の加速エネルギーと誘電体基板表面に蒸着した金薄膜の厚さが誘電体基板表面に形成した金のナノ構造に及ぼす影響について走査型電子顕微鏡や透過電子顕微鏡による断面観察により検討し、最適なナノ粒子形成条件を $Ar^+$ イオン照射の加速エネルギーと金薄膜の膜厚についてそれぞれ 100keV と 30nm と決定した。

続いて著者は、100keV と 150keV の $Ar^+$ イオンを 30nm の金薄膜を真空蒸着したアモルファス $SiO_2$ 基板に $1.0 \times 10^{16} cm^{-2}$ から $1.0 \times 10^{17} cm^{-2}$ まで照射し、可視光領域の吸収スペクトルの測定と走査型電子顕微鏡による表面ナノ構造と透過型電子顕微鏡による断面ナノ構造の微細構造解析を行いナノスケールの表面微細構造が局在表面プラズモン共鳴に及ぼす影響について調べた結果、$Ar^+$ イオンの加速エネルギーが高くなると飛程が深くなるため、金薄膜のスッパッタが減少し基板表面に残存する金原子の量が多くなることから、$SiO_2$ 基板表面上の金ナノ粒子のサイズが大きく、吸収スペクトルが長波長側へシフトすることを初めて明らかにした。

更に本研究では、組成の異なる金と銀の合金を作製しアモルファス $SiO_2$ 基板表面に真空蒸着してから 100keV の $Ar^+$ イオンを照射することによって、これまで難しかったイオン照射による局在

表面プラズモン共鳴の波長を約 420nm から約 560nm まで世界で初めて制御することに成功した。また、基板表面に形成したナノ構造が吸収スペクトルに及ぼす影響について調べた結果、照射量が増加するに従い球形に近づくとともにそのサイズは小さくなり、吸収波長も短波長側へシフトすることを明らかにした。しかしながら、照射量が $1.0 \times 10^{17}\mathrm{cm}^{-2}$ を超えるとナノ粒子のサイズは変わらないにもかかわらず吸収波長は再び長波長側へシフトすることを見出した。更に著者は、ナノ粒子の形状や誘電率等を考慮することによって従来の Mie 理論を拡張した Gans 理論による局在表面プラズモン共鳴の波長について理論計算を行ったが、高照射量では実験値と一致しないことを示した。そこで、著者は、透過電子顕微鏡による断面のナノスケールの微細構造解析を行い、ナノ粒子を構成する原子がイオン照射によって弾き出され、ナノ粒子の周りに更に微細なナノ粒子が形成していることを発見し、多重散乱効果によって長波長側へシフトすると結論付けた。

最後に著者は、アモルファス $SiO_2$ 基板と単結晶 $Al_2O_3$ 基板に 100keV の $Ar^+$ イオン照射による誘電体基板表面の貴金属薄膜のナノ構造化と局在表面プラズモン共鳴の波長の相関について調べ、表面のナノ構造は、基板の種類と結晶構造に強く依存することを明らかにすると共に単結晶の表面が多量の照射によって非晶質化が始まるとナノ粒子が埋め込まれ始めることを明らかにし、これまでに提唱されている理論を支持する実験結果を示した。

これを要するに、著者は、ナノスケールの微細構造解析からイオンビームによる合金薄膜/誘電体表面のナノ構造化とその光学特性の相関について新知見を得たものであり、グリーンナノテクノロジーへの活用が期待されている光学デバイスに必要不可欠な革新的材料開発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。