

# 論文審査の結果の要旨

氏名 大野 真也

本論文は、固体表面上に自発的に形成されるナノスケール構造体について、その原子尺度の構造および形成要因を実験的に明らかにした研究である。つまり、窒素が吸着した単結晶の銅表面上に形成されるナノスケール構造体を題材とし、走査トンネル顕微鏡法 (STM) を駆使して、そのナノ構造の形成過程、および、そのナノ構造をテンプレートとする新たなナノ構造体の形成過程を詳細に解析し、表面近傍での弾性歪みとの関わりとして現象を理解することに成功した。これらの研究成果によって、固体表面上に自己組織的に成長するナノスケール構造体の形成原理の理解が飛躍的に進み、ナノサイエンス・テクノロジーの研究にとっても重要な知見を与える研究となっている。

本論文は9つの章から構成されている。第1章では本研究の背景と関連するこれまでの研究を概観し、その中から生まれた問題意識および本研究の目的が述べられている。第2章では、本研究で使用した実験手法を説明している。第3章以下で、本研究の結果および考察が詳述されている。第3章では、窒素の吸着によって形成される銅単結晶表面上でのナノ構造の形成過程を弾性歪みの観点から明らかにしている。第4章では、微傾斜表面を用いた場合、今までに報告されていない新しいナノ構造パターンが形成されることを述べている。第5章では、第3章で議論されたナノ構造表面上に酸素を吸着させた場合の構造変化を調べている。第6、7、8章では、第3章のナノ構造をテンプレートとして、その上に鉄を蒸着した場合に形成される鉄ナノ微粒子アレイについて、その構造や組成、形成過程を詳細に調べている。第9章において本論文で明らかにされた結果、その意義、および今後の研究の展望をまとめている。

最近の表面物理の分野での研究の進展は目覚しく、それは原子スケール・ナノメートルスケールで観察・測定が可能な各種実験手法の進歩に負うところが大きい。その中で、本研究の中心的ツールとなったSTMは、試料の表面構造を原子レベルで観察・加工できる実験手法として、幅広い分野で利用されている。本論文は、銅単結晶表面上に、

一定条件のもとで自発的に形成されるナノ構造パターンについて、STMを用いて詳細に研究した成果である。

本研究の成果は大きく分けて二つある。

(1) 窒素吸着誘起ナノ構造パターンの形成要因の解明：

銅単結晶表面上の窒素誘起ナノ構造パターンの形成には、弾性歪みが重要であることが従来から予想されていたが、本研究では、原子分解能のSTM観察を行い、原子位置が実際に変位し、しかもその変位の方向や量が場所に依存して局所的に異なることを初めて見出した。それをもとに、ナノ構造パターンの形成モデルを定量的に構築することに成功した。さらに、微傾斜の銅単結晶表面を用いた場合、原子ステップによる弾性歪みの影響によって、新しいナノ構造パターンが形成されることを発見した。また、このように局所的に歪みが異なるナノ構造パターン上に酸素を吸着させた場合、格子が歪んでいる場所に優先的に酸素が吸着することも明らかとなった。これは、弾性歪みと吸着のためのポテンシャルバリアとを関連づけた理論と一致する結果であった。このように、ナノ構造パターンの形成の要因を弾性歪みとして定量的に解明した。

(2) ナノ構造パターンをテンプレートとして形成される鉄ナノ微粒子アレイ形成の解明

上記の窒素吸着誘起ナノ構造パターンをテンプレートとして、磁性金属の微粒子を周期的に並べた構造の形成過程および磁性の研究が従来からなされてきた。本研究では、鉄微粒子について形成条件をさまざまに変えて詳細に調べた。その結果、鉄を上記ナノ構造パターン上に蒸着していくと、はじめに弾性ひずみが大きい領域で小さなクラスターが形成され、それを核形成中心として鉄ナノ微粒子が形成されることが判明した。しかも、その初期クラスターは、蒸着された鉄原子が、基板表面の銅原子と置換して埋め込まれた「埋め込みクラスター」であることもつきとめた。さらに、形成された鉄ナノ微粒子内には、わずかに基板からの銅原子が混入していることも明らかにした。

以上のように、論文提出者は、固体結晶表面上に自発的に形成され

るナノ構造パターンについて、その構造および形成過程を詳細に研究し、これらの現象を原子尺度で理解するための重要な知見を得た。このように本研究は、最先端の実験技術を駆使して初めてなされたものであり、その独創性が認められたため、博士（理学）の学位論文として十分の内容をもつものと認定し、審査員全員で合格と判定した。なお、本論文は、共同研究者らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験の遂行や結果の解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。