



Title	The Transient Electron Emission Phenomena from Metal Surfaces under the Effect of High Electric Field
Author(s)	塙田, 忠
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3169347">https://doi.org/10.11501/3169347</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	塩 田 忠
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 15384 号
学 位 授 与 年 月 日	平成12年3月24日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科物質・生命工学専攻
学 位 論 文 名	The Transient Electron Emission Phenomena from Metal Surfaces under the Effect of High Electric Field (強電界により生じる金属表面からの非定常電子放射現象に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 梅野 正隆
	(副査) 教 授 金谷 茂則 教 授 福住 俊一 教 授 宮田 幹二 教 授 柳田 祥三 教 授 横山 正明 教 授 高井 義造 教 授 一岡 芳樹 教 授 青野 正和

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、金属表面より生じるエキソ電子放射の放射メカニズム解明の為に行われた、原子レベルの観点からの実験的研究、及び第一原理計算を用いた理論的研究をまとめたものであり、以下の7章により構成されている。

第1章では、本研究の背景について述べ本研究の意義、目的などを示している。

第2章では、過去に報告されたエキソ電子放射の研究結果をまとめ、エキソ電子放射研究における本研究の位置づけを行っている。また、これまで未解明であった放射要因ならびに放射サイトに関する問題点を指摘し、それらの解説に対する本研究の有用性を示している。

第3章では、本研究で用いた原子分解能を有する電界イオン顕微鏡、及び電界放射顕微鏡の原理と実験方法について詳述している。これらを用いて、整然とした原子配列を有したタンクステン清浄表面からは、エキソ電子が放出されないことを明らかにしている。一方、その清浄表面を800Kでアニールすると室温付近の温度領域でのみエキソ電子放射が観測され、その電子放射の空間分布と表面構造の対応から、エキソ電子放射の温度依存性を定性的に説明できる放射モデルを提案している。

第4章では、タンクステン表面におけるH<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O分子の吸着がエキソ電子放射に及ぼす影響について調べている。その結果、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>は共にエキソ電子の放射要因とはならないが、H<sub>2</sub>O吸着だけはエキソ電子の放射量を増大させ、これがエキソ電子の放射要因の一つであることを明らかにしている。

第5章では、低エネルギーのイオン照射により形成される表面欠陥がエキソ電子放射に及ぼす影響について調べている。その結果、表面欠陥がエキソ電子の放射要因であること、ならびにその放射量は温度依存性を有することを明らかにし、この実験結果を定性的に説明する放射モデルを提案している。

第6章では、アルミニウムの清浄表面、O<sub>2</sub>吸着表面、欠陥を含む表面ならびにステップ表面の電子状態を第一原理計算により計算し、得られた電子状態からエキソ電子放射が生じる可能性を検討している。清浄表面とO<sub>2</sub>吸着表面の電子状態の比較からは、実験結果を良く説明することの出来るエキソ電子放射モデルが提案され、また表面欠陥及びステップ表面の電子状態からもエキソ電子放射が生じる可能性があることを指摘している。

第7章では、本研究により得られた結果が総括され、今後の展望について述べられている。

## 論文審査の結果の要旨

エキソ電子放射は、表面の吸着、不純物、欠陥に対して非常に敏感な電子放射現象であるため、特に表面の非破壊探傷技術として工業的に期待され、数多くの応用研究が行われてきている。しかしながら、エキソ電子の放射メカニズムが未だに解明されていないことから、期待されたほどの成果を得る事は出来ていない。このため、本研究では初めて原子レベルでエキソ電子放射現象の観察を行い、同時に第一原理計算による理論的な解釈を行って、エキソ電子放射メカニズムの解明を試みている。その主な成果を要約すると以下に示す通りである。

- (1) 超高真空中でアニールしたタンクステン表面からエキソ電子放射を観測し、エキソ電子放射特性が原子レベルでの表面構造と相関関係を持つことを明らかにしている。これにより、今まで注目される事のなかった表面の動的な現象がエキソ電子放射に寄与している事を指摘し、原子の表面拡散に基づく放射メカニズムを提案している。
- (2) 低エネルギーのヘリウムイオンの照射により形成される表面欠陥が、タンクステンのエキソ電子放射サイトとなる事を明らかにし、その強度の温度依存性と時間依存性から表面原子の拡散に基づいたモデルによりエキソ電子放射を説明できることを示している。
- (3) 第一原理計算から求められたアルミニウムの清浄表面と  $O_2$  吸着表面の電子状態の比較から、 $O_2$  吸着によるフェルミレベル近傍の状態密度の増大を考慮した Low Workfunction Patch model (LWP model) を提案している。この LWP model により実験結果を再現することができ、アルミニウム表面では  $O_2$  吸着がエキソ電子放射の要因になることを示している。
- (4) 原子ステップが存在するアルミニウム表面の電子状態においても、フェルミレベル近傍に増大した状態密度が存在することを、第一原理計算の結果から明らかにしている。この結果は、過去に報告されている実験結果に一致することから、ステップもエキソ電子放射サイトとなることを示唆している。

以上のように本論文では、金属表面からのエキソ電子放射現象を原子レベルで実験的に解析し、さらに第一原理計算による理論的研究を行い、表面の動的現象に注目したエキソ電子放射メカニズムの提案、また放射メカニズムに関する電子論的な考察を行っている。これらの成果は、エキソ電子放射現象の工業的利用への道を開くものであり、応用物理学、特に表面工学の分野の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。