

| | |
|---------|---|
| 氏名(本籍) | なる しま てつ や 成 島 哲 也 (茨 城 県) |
| 学位の種類 | 博 士 (理 学) |
| 学位記番号 | 博 甲 第 2847 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 14 年 3 月 25 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 |
| 審査研究科 | 物理学研究科 |
| 学位論文題目 | Athermal Stress Release of Silicon Surface and the Microscopic Structure (シリコン表面の非熱的応力緩和とその微細構造) |
| 主 査 | 筑波大学教授 理学博士 押 山 淳 |
| 副 査 | 筑波大学教授 理学博士 長 照 二 |
| 副 査 | 筑波大学助教授 理学博士 河 邊 隆 也 |
| 副 査 | 筑波大学助教授 工学博士 村 上 浩 一 |
| 副 査 | 物質・材料研究機構 研究室長 工学博士 北 島 正 弘 |

論 文 の 内 容 の 要 旨

物質表面では、表面エネルギーの低下による表面安定化が起こり、それに伴って、物質内部とは異なる原子構造がしばしば出現する。原子配置の再構成による電子的エネルギーの利得である。一方、こうした原子再構成は、物質内部の原子構造との競争を生じ、そのために表面応力が出現する。また物質表面は積層膜さらにはデバイス等の作製舞台であり、そうしたデバイスの電気的・光学的性質は、表面の構造に大きく左右される。従って、実際の物質表面でどのような原子再構成が生じ、またその結果としてどのような表面応力が発生しているかを明らかにすることは、物質科学及び工学における大きな課題である。原子再構成自体については、電子分光法、X線、電子線回折、走査型顕微鏡などの実験により多くのことが調べられてきた。しかしながら表面応力を微視的なスケールで測定した例はあまり存在しない。とくに、その表面応力と原子再構成、表面欠陥との関連については、未解明の問題が数多く残っている。

本論文の目的は、代表的な半導体であるシリコン表面を取り上げ、そこでの表面応力をマイクロなスケールで測定し、その表面応力と表面欠陥の存在との因果関係を、実験的に明らかにするものである。またそうした実験的研究により、表面欠陥の回復過程についての新しい知見を得ることも重要な目的である。具体的には、イオン照射による表面欠陥の導入、レーザービームを利用した光楯子法による表面応力測定、電子線照射による表面応力変化の測定、さらには同一表面の走査型顕微鏡観察、が本論文で行われている。まず、短冊状清浄Si(100)基板(450 μ m \times 50 μ m \times 2 μ m)が用意され、超高真空中で、一端が固定された状況での自由端の微小な反りが、光楯子法により測定されている。この清浄表面では表面原子はダイマー状に再構成し、そのため異方的な表面応力が発生することは理論的に予測されていたが、本実験によってそれが検証されている。さらにArガスの高周波放電によりプラズマを発生させ、生じたイオンをSi(100)基板に照射した。このイオン照射により、圧縮性の応力が発生することを見出した。これはイオン照射による表面欠陥発生のために、清浄表面とは異なる応力が生じることを応力直接測定により初めて見出したものである。この表面欠陥の導入は、同時に行われた走査型トンネル顕微鏡実験でも明確に検証された。

さらに本論文では、室温において低エネルギーの電子線照射を上述のSi(100)基板に対して行い、応力測定と顕微鏡観察が実行された。その結果、電子線照射により、表面応力は清浄表面でのそれに戻るが発見された。

また走査型トンネル顕微鏡実験により、電子線照射後の表面モルフォロジーは、清浄表面のモルフォロジーに戻っていることも見出された。これは電子線照射により表面欠陥が除去・回復していることを明確に示している。通常、高温でのアニーリングを行うと、表面原子が拡散し、表面欠陥が除去されることはよく知られている。しかし本論文で見出された、室温程度の低温での表面欠陥除去は全く新しい発見である。本論文では、この結果を電子線による励起によって、欠陥の荷電状態が変化し、それによって原子拡散の障壁が非熱的に越えられている、と結論付けている。この電子励起による原子移動の機構は、過去に半導体バルク中の拡散に対して提唱されたものであるが、表面原子の拡散に対してもそれが適用されることが実験的に明らかにされている。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、イオン・電子線照射下での表面応力測定および走査型トンネル顕微鏡観察という多角的な実験的手法により、最も典型的かつ重要な半導体であるシリコン表面での欠陥の生成とその消失、さらにはその消失のミクロな機構を明らかにしたものである。表面原子構造と表面応力発生との因果関係を解明し、さらには新しい非熱的表面欠陥消失の過程を提唱している。物理学、材料科学、表面科学の分野での大きな学術的貢献と認められる。また世界的に見ても独創的かつ高水準の研究といえる。

また、電子励起による非熱的原子移動の機構は、本研究によりきわめて一般的な概念であることが確かめられ、物理的、材料科学の分野への大きな貢献といえる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。