

氏名(本籍)	とく だ のり お 徳 田 規 夫 (広 島 県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	博 甲 第 3665 号		
学位授与年月日	平成 17 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	数理物質科学研究科		
学位論文題目	シリコン単結晶表面上の吸着金属原子の挙動と自己組織化による低次元金属ナノ構造形成		
主 査	筑波大学教授	工学博士	山 部 紀久夫
副 査	筑波大学教授	理学博士	名 取 研 二
副 査	筑波大学教授	工学博士	重 川 秀 美
副 査	筑波大学客員教授	理学博士	山 崎 聡

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、前半は、半導体集積回路プロセスにおけるシリコン表面 Cu 汚染を想定したもので、各種薬品処理中での Cu 吸着の挙動を取り上げ、吸着サイトの存在を示している。さらには、吸着後の熱酸化によって形成されたゲートシリコン酸化膜の吸着 Cu 微粒子の影響を示し、一般的な予測と異なり、微粒子部ではゲート酸化膜の特性の劣化は認められず、むしろ、微粒子以外での絶縁特性劣化が認められることを明らかにした。また、その原因が微粒子下の厚いシリコン酸化膜によるものであることを AFM 等の原子レベルの観察手段を駆使して明らかにした。また、熱酸化後の SPM なる薬品処理によりシリコン酸化膜上の Cu を除去することにより、シリコン酸化膜の絶縁耐圧を大きく改善することができることを示した。しかし、シリコン酸化膜中に取り込まれた Cu により低電圧領域でのリーク電流は残留することを示した。

後半では、シリコンというもっとも制御性の高い材料を利用して、もっとも高い制御技術が求められているナノワイヤの形成を目的に、前半での Cu 吸着サイトの存在に注目し、金属ナノワイヤの形成に結実させている。つまり、Cu 吸着がシリコン表面の面方位に依存することから、結晶表面の原子構造あるいは結合状態に言及した。特に、(111) 面での原子ステップと原子的に平坦なテラスという、よく定義された特殊構造に着目し、ステップ端に Cu イオンを含む超純水中に浸漬するだけで選択的に Cu ワイヤを形成することに成功した。

工学的には、単原子幅のナノワイヤを形成したことで大きな成果であるが、以下のように種々の評価手段を適用し、その形成機構および構造解析を行った。TXRF による吸着 Cu 量とステップ長との関係から、上記 Cu ワイヤの幅が単原子からなることを明らかにし、正に Cu ナノワイヤの形成に成功したことを示した。また、赤外吸収スペクトル (FTIR) を用いた評価により、溶液浸漬において、テラス上被う垂直 SiH 結合は保存され、原子ステップ端での水平 SiH 結合が Cu に置き換わって吸着していることを明らかにした。さらには、Cu ナノワイヤ形成後の希フッ酸処理により、Cu ナノワイヤがリフトオフされステップ端に沿って Cu ナノワイヤより幅の広い溝が形成されることから、Cu ナノワイヤの下層には幅の狭い厚さの薄いシリコン酸化膜が形成されていることを明らかにした。このことは、単純に浸漬時間の増加により、太くすること

ができないことが下地シリコンとの電氣的絶縁によるものであることを示唆するものである。

本手法を Ag ナノワイヤ形成に適用しただけでなく、Ag イオンが1価、Cu イオンが2価であることに注目し、Ag ワイヤを太らせることに成功した。これは、目的に応じて、ワイヤ太さを変化させることができることになり、テクノロジーとして一歩前進したことを意味する。

本 Cu ナノワイヤの形成は、超純水中での無電解析出であり、これまでに報告されている原子制御法や電解析出法に比較して、極めて簡単であり、テクノロジー化にもっと近い形成法といえる。また、ここで進められた解析結果は、今後のナノテクノロジーへの発展に多いに役立つものと確信できる。

審 査 の 結 果 の 要 旨

初期の研究を除いては、全くオリジナルな研究として進め、Cu ナノワイヤのモチーフとして、シリコン単結晶表面での原子・イオンレベルの反応を解明するとともに、単原子幅という真に意味で極限細線の金属ワイヤを形成することに成功しており、その発展性を考えると、十分に高い評価を与えることができる。

電氣的特性を得るにいたらなかった点は残念ではあるが、ナノサイエンスとしての業績は特筆に値する。よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。