

審査の結果の要旨

氏名 中川 和久

本論文は原子間力顕微鏡 (AFM) の高分解能化を目的として、カンチレバー部分を含めた装置全体の改良を行っている。半導体微細加工技術を応用してバッチプロセスで作製可能な微小カンチレバーと、レーザードップラー速度計と光熱励振を組み合わせた超高真空 AFM の開発、さらにその装置を用いた AFM 撮像実験を論じたもので全七章からなる。

第一章では、AFM に関する近年の代表的な研究を述べ、AFM の高分解能化に、探針と試料間に発生する相互作用力を直接検出する部分である AFM カンチレバーの微細化、カンチレバーの振動振幅の低振幅化、マルチモードによる撮像が高分解能化に有効であるとに着目した。それらを実現するために、「バッチプロセスによる微小カンチレバーの作製技術の確立」、「従来の検出手法に代わる高周波・高感度振動検出装置の開発」、「スプリアスピークが発生が無い励振手法」を解決すべき課題とした。

第二章では、AFM の高分解能化に有効なカンチレバーの構造、撮像方法を定量的に検討している。

第三章では、微小カンチレバーの作製プロセスとその性能について検討している。3 種類の微小カンチレバーの作製プロセスを考案、試作とその評価を行っている。単結晶シリコンの異方性エッチングと選択酸化の技術を応用して作製された微小カンチレバーは、フォトリソグラフィの精度の影響を受けず、構成する全ての面が単結晶シリコンの結晶面で構成されたものであった。長さ $5 \mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ の微小カンチレバーをバッチプロセスで試作し、その作製プロセスの有用性を実証している。

第四章では、計測帯域が広く、スプリアスピークが無い振動検出が可能な超高真空 AFM の開発し、その性能評価実験を行っている。カンチレバーの励振に光熱励振を、振動検出にヘテロダインレーザードップラー速度計を用いることで、スプリアスピークが発生が無く、 10 MHz を超えるカンチレバーの振動を検出できる装置を開発している。カンチレバーの自己励振回路にはスーパーヘテロダイン方式を採用することで、様々な固有振動数を有するカンチレバーの自

励発振を可能としている。開発した装置の性能評価実験から、検出系のノイズがカンチレバーの持つ熱ノイズから決まる検出限界よりも十分に低いこと、光熱励振が圧電励振よりも遥かに優れることを示している。

第五章では、開発した超高真空 AFM を用いた原子分解能撮像実験を行っている。カンチレバーの 2 次モードを用いたシリコン(111)-7×7 再構成表面、1 次モードを用いた臭化カリウム(001)劈開表面の原子分解能撮像に成功している。さらに、高周波カンチレバーを用いたシリコン再構成表面の撮像実験に成功している。

第六章では、本論文によって得られた知見を総括している。

第七章では、今後の展望が述べられている。

本研究は、AFM の更なる高分解能化の技術課題を全て解決し、これからの高周波、超低振幅、マルチモード AFM 撮像を可能とするもので、原子スケールの観察・加工の分野の発展に大きく寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。