

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 佐谷大輔

同君の博士論文は原子間力顕微鏡 (AFM) の力検出素子として用いるためのナノ振動子の開発についてであった。

AFM において、解像度の向上のためには力検出素子であるカンチレバーの微小化が望まれる。微小カンチレバーはバネ定数 1N/m ほどでも、高い共振周波数を持つからである。それにより AFM の解像度向上、高速でのデータ読みとりが可能になることは以前からも議論されている。現在の AFM は 100 ミクロンオーダのカンチレバーを用いた観察におおまかである。同君の論文は、力検出素子としてのカンチレバーの大きさをナノメートルのオーダに微小化して、数 MHz から 1GHz の高共振周波数を持つ振動子を開発し、これまでにない高感度で力勾配、各種場の計測を行うことを目的としている。微小カンチレバーを用いた AFM 実現の報告として、日立製作所の保坂らの研究で、固有振動数 6MHz の小型カンチレバーの研究を行い、高速のデータ記録を行っている。CNRS の Binh らが加熱探針により 100 ナノメートルオーダのこけし状振動子を作製している。微小振動子として、AFM の力素子として、高感度が得られることを見積もっている。

しかし Binh らが行った加熱探針により得られる 100 ナノメートルオーダのこけし状振動子の機械特性の測定は行われていなかった。同君の論文で、加熱探針により得られるナノ振動子の作製の実験を行い、走査型電子顕微鏡内原子間力顕微鏡システムによりはじめて機械特性の測定に成功している。その実験により、加熱探針により得られる 100 ナノメートルオーダのこけし状振動子はもろく、AFM の力検出素子として用いるのは困難であることを発見した。

そして、Si 基板を用いて半導体製造技術によりナノ振動子の作製を行った。作製方法は Si の異方性を用いたエッチング技術でリソグラフィ技術の精度に依存しないことが特長で、より高い再現性、均一性のある作製に成功した。長さは 100 ナノメートルから数ミクロン程である。Binh らが作製した加熱探針による振動子は計算値で、共振周波数 60MHz 、バネ定数 0.3N/m であった。一方、同君の論文で発表されているナノ振動子は、共振周波数 300MHz 、バネ定数 1N/m であり、より高い共振周波数を有する。そして、走査型電子顕微鏡内原子間力顕微鏡システム (SEM-AFM) により、作製したナノ振動子の強度を測定し、 1GPa の強度があり、AFM の力検出素子として十分な強度、弾性を有すること実証した。ナノ振動子は作製プロセスの都合上、形状は限られているが、作製のパラメータを変化させることでバネ定数は 0.01N/m ~ 50N/m 、共振周波数は 1MHz ~ 1GHz に設計することができる。必要に応じた機械特性を持つナノ振動子の作製が可能である。

また、数ミクロン程度の長さの高い均一性のある AFM カンチレバーをアレー状に作製することに成功し、AFM の一括走査を行うことについて、述べられている。現状の AFM の一括走査の例としては、IBM やスタンフォード大学で 1000 本のカンチレバーで、データの書取、読み出しの研究を行っている。同君の研究では均一性のあるカンチレバーが 10 ミクロンメートル毎に並べられ、1cm 四方当たり百万本あり、現状のものに比べ遙かに高密度なカンチレバーアレーによる AFM の一括走査が期待される。

今後の課題としては、ナノ振動子の振動の励起・検出方の確立をすること、そして、数万本の微小カンチレバーの一斉の励起・検出方の確立をすることである。同君の論文では、その課題のための展望が明確にされて、作製したナノ振動子を力検出素子として用いる AFM、そして数万本のカンチレバーからなる AFM をいかに構成していくかについて述べられている。

大きさが 100 ナノメートルから 1 ミクロンのナノ振動子をカンチレバーとして用いた AFM としての作動が実現すれば、微小力、各種の場や質量変化が今日用いられているものより遙かに高い感度で検出可能になり、これまで知られなかった、原子レベルでの物理的・化学的現象をとらえることが可能になる。そして、ナノトライボロジーや表面・界面の物性の研究により大きな発展が期待される。

以上により、同君は工学博士の学位を受けるのに十分な研究能力を有すると認めた。