

シリコンマイクロマシンを実現するためのアプローチの一つに、表面マイクロマシンといわれる技術が提唱されている。これは、シリコン基板上にフォトリソグラフィ、エッチング、堆積、アニーリングなどを行い、電子回路と機械システムを集積化する技術である。この技術の利点としては、シリコンの超微細加工技術を直接適用しているため立体構造のデバイスを容易に微細化できること、また単一のシリコン基板上に電気-機械のモノリシックな集積化ができることなどがあげられる。しかしこれまでのところ、この技術の機械部分については通常の大きさの機械システムの縮小版的な概念が適応されており、構造が非常に複雑になるという欠点があり、場合によっては人の手によって組み立てる必要があるというような問題点を持っていた。

このような問題点を克服するため、近年、シリコンの微細回路作製技術だけを用いて微細機械部分を作製する手法として、2層間の格子ひずみを利用して立体構造を作製する手法(マイクロオリガミ)が提唱された。これは、多層の格子不整合系をエピタキシャル成長で作製したとき内部に応力が蓄積されるが、試料の一部をエッチング等で除去すると、これが解放されて変形することを利用しようとするものである。これまでに、この方法を用いて蝶番が作製されているが、これは従来の蝶番とは原理が全く異なるものであり、構造およびプロセスが非常に簡単になるという利点がある。しかしまた実証できたという程度の段階であり、ある構造のものを作るにはどのように結晶成長させプロセスをすれば良いのかという設計法は未解明であった。本研究は、ひずみ層に GaAs と InGaAs を用いたマイクロオリガミを作製し、プロセス法と構造の関係を調べ、設計法の確立を目指したものである。

これまでのプロセス方法で作製された蝶番構造ではばらつきが大きかったが、その原因は応力を解放するためのエッチング深さのばらつきによっていることを明らかにした。そして、格子不整合系の多層膜に最初からエッチングをとめるための選択エッチング層を入れることで、安定に精密な蝶番を作製することに成功した。また、異方性のある GaAs(100)面で[010]方向と[011]方向に様々な InGaAs の膜厚のチューブを作製した結果、[011]方向より[010]方向のチューブの曲率半径が小さくなることがわかった。さらに、GaAs(100)面内で様々な方向の蝶番を作製した結果、曲率半径は 90 度周期で変化し、[010]方向より[011]方向の方が大きくなることがわかった。そして、この 2 つの実験結果をバイメタルの変形を記述する理論式と比較した。バイメタルの式にはヤング率と熱膨張率が物質定数として入ってくるが、ヤング率の面内異方性を考慮に入れたときの理論式と実験値を比較した。その結果、2 方向のチューブを作製したサンプルでは、両者の[010]方向のチューブは、良い一致を示したが、[011]方向のものは一致しなかった。また、様々な方向の作製した蝶番に対して、両者の周期は良い一致を示したが、振幅は一致を示さなかった。これらの差は熱膨張率の異方性を考慮していないためであると考えられる。

結論としては、格子ひずみ系を利用したマイクロマシン作製技術において、エッチングの選択エッチング層を最初に入れておくことにより安定に微細構造が得られること、そして、バイメタルの式がこの構造を設計する式として有効であることが明らかになった。