

銅エポキシ樹脂接合界面の 中性子反射率測定による研究

利用者 久保田正人¹、矢代 航²、服部正³、植田寛康⁴

所属 ¹高エネルギー加速器研究機構、²東京大学、³兵庫県立大学、⁴(株)東海理化

1. はじめに

近年、微細加工技術によりサブミクロンサイズのマイクロマシンを三次元的に作製するMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術の分野が大きな発展を遂げている。この技術の応用は多岐にわたり、アクチュエータ、センサーはもちろんのこと、流体応用デバイスや光通信用スイッチなど様々な方面ですでに実用化されている。このようなマイクロマシンを構成するためには、微細加工技術により個別に作製した微小部品を組み立てる技術 (アセンブリ技術) が不可欠である。しかしながらサイズが微小なため、通常のサイズの機械に用いられるようなネジやボルトによる組み立ては一般に困難である。また、溶接や拡散接合、圧接などでは、融点に近い高温や高圧が要求されるため、部品に熱ひずみなどによる損傷を与えてしまう。さらに接着剤による間接接合では、組み付け精度や接着剤の濡れの問題で適用が限定される。

そのような中、直接接合技術がMEMS業界にブレイクスルーを与えるものとして最近大きな注目を集めている。この技術は、Arイオン照射、イオン化された水蒸気の照射により、異種材料を接着剤なしに直接的に接合するものであり、従来の方法では困難であった低温、低圧での接合が可能である画期的なものである。しかしながら、接合の物理的なメカニズムは、現在のところ解明されていない。接合界面の電子密度分布、特に水素、酸素の分布などを非破壊的に明らかにするために、今回中性子反射率法を行った。

2. 実験方法

試料はCu-エポキシ樹脂系を用いた。Siウェハ上に100 nmのエポキシ樹脂 (SU-8) をスピコートし、真空中で水蒸気イオンを照射して、さらにCuを100 nm成膜した。成膜によりCu層を堆積することで、擬似的に極薄Cu箔をエポキシ樹脂上に接合したのと同様な系を得ることができる。界面の接合のメカニズムを明らかにするために、1) 水蒸気イオン照射した試料 (重水素置換あり)、2) 1) 水蒸気イオン照射した試料 (重水素置換なし)、3) 水蒸気イオン照射なしの試料の3種類について、JRR-3に設置された中性子反射率計SUIRENを用いて、反射率測定を行った。

3. 実験結果

図に中性子反射率測定の結果を示す。横軸は散乱ベクトルの表面に垂直な成分 (Q_z)、赤線、青線、黒線はそれぞれ重水 (D_2O) イオン照射、水蒸気イオン (H_2O) 照射、イオン照射なしの試料の中性子反射率を示している。図のように三種類の試料で明らかに有意な差が見られた。反射率のデータに差が生じた原因としては、イオン照射 (あるいは照射なし) 界面における電子密度の差、Cu層の膜厚の差などが考えられる。後者は主にフリンジの周期に変化を与えるはずであるが、実験データにはフリンジ周期の変化だけでは説明できない位相変調の差が見られた。詳細については、現在解析中である。

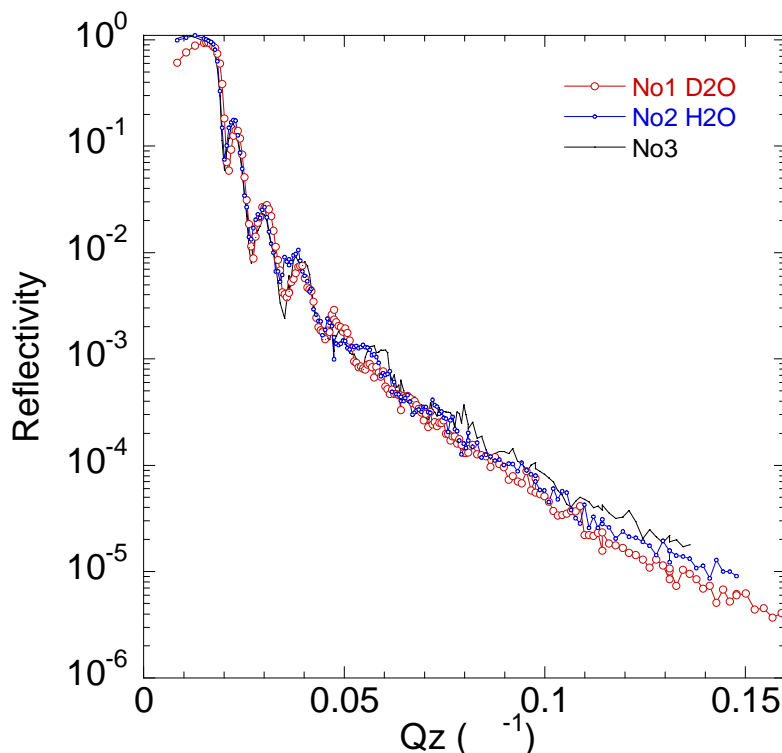


図1. 中性子反射率測定の結果

4. まとめ

本実験により、イオン照射条件の違いによる変化が界面に生じていることが確認できた。また、中性子反射率法が直接接合のメカニズムを解明するためのツールとしてたいへん有効であることが示された。日本原子力研究開発機構 山崎博士のサポートにより、本実験をスムーズに遂行することができた。

中性子反射率計を用いた銅エポキシ樹脂の照射効果の研究

利用者 久保田正人¹、矢代航²

所属 ¹高エネルギー加速器研究機構、²東京大学新領域

1. はじめに

近年、微細加工技術によりサブミクロンサイズのマイクロマシンを三次元的に作製するMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術が大きな発展を遂げている[1,2]。このようなマイクロマシンの構築においては、微細加工技術により個別に作製した微小部品を組み立てる技術(アセンブリ技術)の開発が一つの大きな課題である。サイズが微小なため、通常のサイズの機械に用いられるようなネジやボルトによる組み立ては一般に困難である。また、溶接や拡散接合、圧接などでは、融点に近い高温や高圧が要求されるため、部品に熱ひずみなどによる損傷を与えてしまう。さらに接着剤による間接接合では、組み付け精度や接着剤の濡れの問題で適用範囲が限定される。そのようななか、本研究の協力者の一人である服部氏により開発された直接接合技術がブレークスルーを与える技術として最近大きな注目を集めている[3]。この技術は、異種材料を接着剤なしに直接的に接合するものであり、従来の方法では困難であった低温、低圧での接合が可能である画期的なものである。この方法では接合したい面に真空中でイオン化された水蒸気を照射し、その後接合面どうしを接触させて低圧で加圧することにより接合を実現するというものである。本研究では中性子反射率およびX線反射率法の相補的に利用することによって、メカニズムの解明を目指した。

2. 実験方法

中性子反射率測定はJRR-3の中性子反射率計(SUIREN)により行った。試料としては、4インチシリコンウェハ上にエポキシ樹脂(SU-8)をスピコートした後に分割したものをを用いた。その後、一枚目についてはa) D₂Oイオンを、二枚目はb) H₂Oイオンを照射し(図1)、その上にCu層を成膜した(この方法で低温・定圧で接合する場合と同様の接着力が得られることが分かっている)。三枚目についてはc) イオン照射なしでCu層を成膜した。四枚目はリファレンスのためd) SU-8のみとした。

3. 実験結果

図2に中性子反射率測定の結果を示す。横軸は散乱ベクトルの表面に垂直な成分(q_z)、 q_z はそれぞれa) D₂Oイオン照射、b) H₂Oイオン照射、c) イオン照射なし、d) SU-8のみ(実線は二層モデルのフィッティング結果)の試料の中性子反射率を示している。図のようにCuを成膜した三種類の試料で明らかに有意な差が見られた。今後、X線反射率測定の結果と合わせた詳細な解析が必要であるが、本実験により中性子反射率法が直接接合のメカニズムを解明するためのツールとしてたいへん有効であることが示された。

4. まとめ

中性子反射率法により水蒸気イオン照射により形成した異種材料間の直接接合界面の接合メカニズムの解明を目指した。今回と同じ作製方法の試料の反射率測定については、よい再現性が得られた。今後、X線反射率測定の結果と合わせた詳細な解析により、接合界面付近の電子密度分布を明らかにしていきたいと考えている。

参考文献

- [1] E.W. Becker *et al.*, Eng. 4, 35-36 (1986).
- [2] A. Teshigahara *et al.*, J. Microelectromech. Sys. 4, 76-80 (1995).
- [3] H. Ueda *et al.*, 2006 International Symposium on Micro-Nanomechatronics and Human Science, 545-550 (2006).

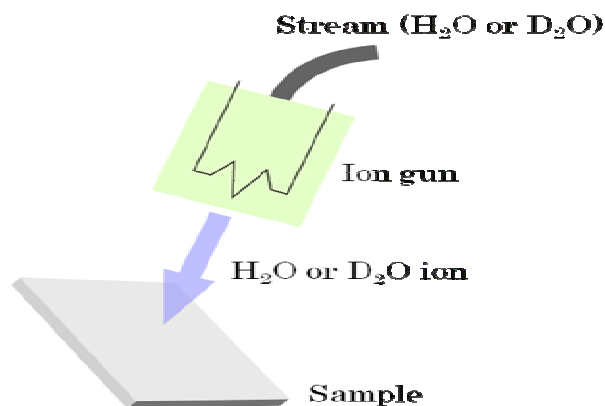


図1. 異種材料の直接接合(水蒸気イオンおよび重水イオン照射)[3].

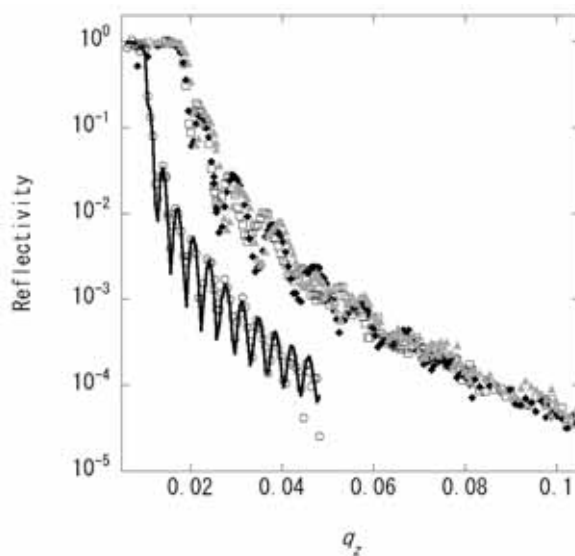


図2 中性子反射率の測定結果。 q_z はそれぞれD₂Oイオン照射、H₂Oイオン照射、イオン照射なし、SU-8のみ。