

水晶振動子の外形加工の研究

Surface machining of quartz wafer for quartz crystal microbalance (QCM) applications

勝亦 徹* 松元 健**

1. はじめに

水晶振動子は、安定な周波数を得ることができるため、スマートフォンやコンピュータなどに広く使われている。水晶振動子の表面に数ナノグラムの微量物質が付着することにより定量的に周波数が変化(低下)するため超微量天秤としての応用が可能である。水晶振動子を使った超微量天秤はQCM (Quartz Crystal Microbalance) と呼ばれ、バイオセンサやガスセンサなどの幅広い用途で用いられている。¹⁻⁶

QCM に使われる水晶振動子は、2枚の電極に挟まれた厚さ0.3 mm程度の円板状の水晶板でできている。この水晶振動子は、測定に悪影響を及ぼすスプリアス(目的周波数以外の発振)を低減するために表面を凸状に加工している。しかし、現在行われている凸面加工は、加工精度が悪くセンサの高性能化が不十分である。この研究では、QCMセンサの高性能化を目的として、水晶振動子の表面を球面加工し、ノイズ低減や発振特性に与える球面加工の影響を検討した。

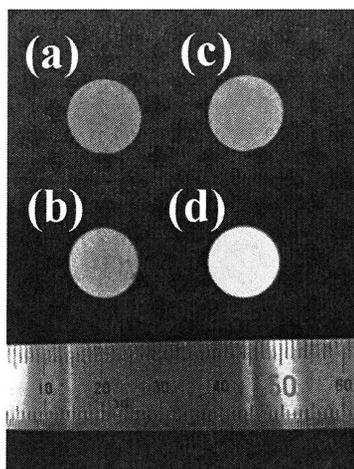


図1、精密加工した球面状QCMセンサ(a)および(b)、従来の凸状QCMセンサ(c)および(d)。(b)、(d)は、表面にAu電極を形成したQCMセンサを示した。

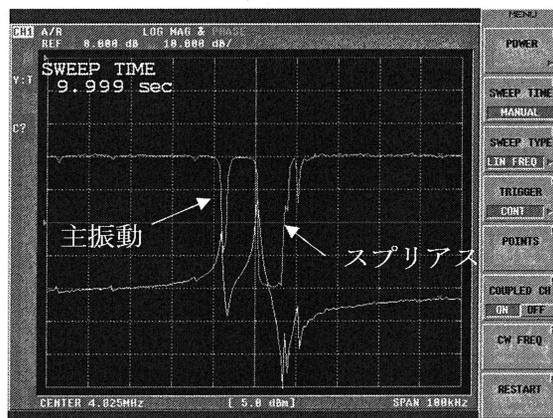


図2、平板状水晶の発振特性。

2. 水晶の表面加工による発振特性の変化

QCMセンサの球面精度や表面形状の再現性を向上するために、球芯揺動機構のついたNC研磨機とダイヤモンド粒を充填した研磨砥石を使用して水晶素板を球面加工した。QCMセンサの製造工程に従い、①平板(凸面加工なし)、②従来法による凸面加工、③球芯研磨による球面加工の3種類の研磨方法を用いて、図1に示したような表面加工の異なるQCMセンサ試料を試作した。試作した表面形状の異なるQCMセンサを用いて、センサの発振周波数を測定した。測定には、ネットワークアナライザ(アドバンテスト製R3754A型)を用いて水晶の発振周波数付近の周波数特性を測定した。

平板状水晶の発振特性を図2に示した。約5 MHzの主振動ピーク付近の高周波数側に大きなスプリアスが観察された。平板状水晶では、スプリアスのためにQCMセンサとしての使用が困難であることがわかる。表面に従来の凸状加工を行ったQCMセンサの発振特性を図3に示した。凸状加工によって約5 MHzの主振動ピーク付近のスプリアス(図2)は改善されたが、主振動ピークの高周波数側には2箇所のスプリアスが見られた。QCM

* 理工学部 応用化学科

** 株式会社マツモト精密工業

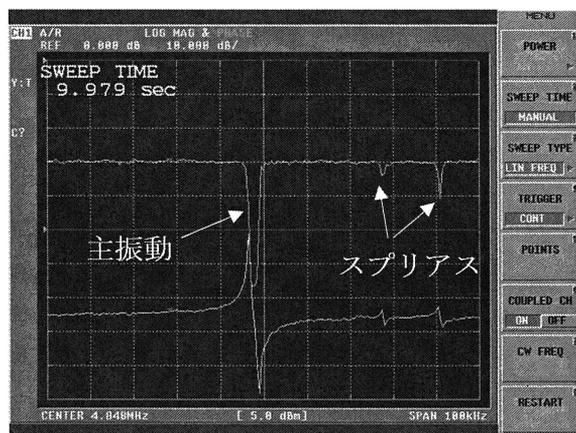


図3、従来の凸加工のQCMセンサの発振特性。

センサの発振周波数は、質量増加に比例して高周波数側にシフトするため、平面状センサや凸面状センサに見られる主振動ピークの高周波数側のスプリアスは、測定精度に悪影響を与える要因になる。図4に、今回試作した球面状のQCMセンサの発振特性を示した。球面状センサでは平面状センサや凸面状センサに比べて、約5MHzの主振動ピークよりも高周波数側のスプリアスが改善されることがわかった。球面状センサを使用することにより、QCMセンサの測定質量範囲の拡大や、高感度化が可能になることがわかった。

3. まとめ

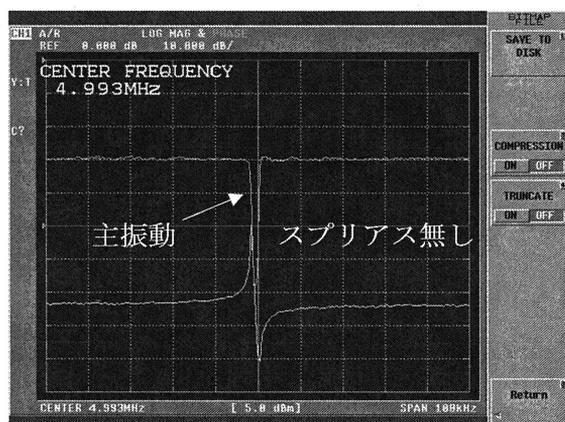


図4、本研究で試作した球面状QCMセンサの発振特性。

水晶振動子には、主振動以外に高調波振動や別の振動モードに起因するスプリアスが存在し、このためにQCMセンサの測定精度が低下していた。従来のQCMセンサではスプリアス低減の為に、表面を凸状に加工した水晶板が使われていたが、凸部の中心精度や形状の再現性が良くないため、スプリアス低減が不十分であった。今回の検討によって、スプリアス低減によるQCMセンサの高性能化のためには、センサ表面の精密球面加工が不可欠であることが示された。今後、QCMセンサの高性能化を実現するために、高精度な球面加工を再現性良く行うことができる加工技術と表面形状の精密測定技術の検討が必要である。

参考文献

- 1) C. March, J. V. García, Á. Sánchez, A. Arnau, Y. Jiménez, P. García, J. J. Manclús, Á. Montoya, *Biosensors and Bioelectronics* 65 (2015) 1–8.
- 2) F. Pascal-Delannoy, B. Sorli, A. Boyer, *Sensors and Actuators* 84 (2000) 285–291.
- 3) S. Iwamori, K. Yoshino, H. Matsumoto, K. Noda, I. Nishiyama, *Sensors and Actuators B* 171–172 (2012) 769–776.
- 4) E. S. Muckley, J. Lynch, R. Kumar, B. Sumpter, I. N. Ivanov, *Sensors and Actuators B* 236 (2016) 91–98.
- 5) S. Öztürk, A. Kösemen, Z. A. Kösemen, N. Kılınc, Z. Z. Öztürkb, M. Penza, *Sensors and Actuators B* 222 (2016) 280–289.
- 6) J. L. Casteleiro-Roca, J. L. Calvo-Rolle, M. C. Meizoso-Lopez, A. Piñón-Pazos, B. A. Rodríguez-Gómez, *Sensors and Actuators A* 207 (2014) 1–9.