

## 審査の結果の要旨

氏 名 山下 清隆

本論文は「電界電子放出電流を振動検出機構に用いた真空マイクロメカニカル共振子に関する研究」と題し、単結晶貼り合わせシリコン基板をマイクロマシニング加工して共振子とその振動検出機構を形成し、真空中において共振子の微細な振動を電界電子放出電流の変調成分として検出をおこなうMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型周波数フィルタ素子の提案、構造設計、製作方法、および、特性評価についてまとめたものであり、6章より構成されている。

第1章は「序論」であり、研究の背景となる高周波フィルタの無線通信機器における役割と現状を述べ、MEMS技術の共振フィルタへの応用の利点と問題点を指摘した。また、本研究の目的と意義を説明し、研究の方法論と成果について述べている。

第2章は「電界電子放出電流を共振子の振動検出に用いたMEMS共振フィルタの提案」であり、同検出機構をMEMS共振フィルタとして構成する方法を提案した。まず、デバイスの基本概念を提案した後に、電界電子放出機構の理論と応用を述べ、機械振動子の微小振動検出機構として本研究で採用した電界電子放出機構の優位性について論じている。また、デバイスサイズに対するスケーリングから、従来の静電容量結合型MEMS共振子や、SAW (表面弾性波) デバイスやFBAR (圧電薄膜共振器) 等の固体素子との比較を論じ、本研究の方法が共振フィルタの高周波数化と小型化に整合性がよいことを述べている。

第3章は「MEMSプロセスを用いた微小真空管による電界電子放出現象」であり、シリコンMEMS設計製作技術を用いて電界電子放出現象を発生するマイクロ真空機構を実現する方法について述べている。電界電子放出を発生するために最も重要な曲率半径数十ナノメートル以下の電界放出先端を、シリコン異方性ドライエッチングとウェットエッチングの組み合わせによって製作する方法を新規に提案し、他の方法と比べた優位性について論じている。また、フォトリソグラフィを1回だけ行うことによって、1枚の貼り合わせSOIウエハから大量のMEMS電界電子放出素子を製作できることを実験的に示している。

第4章は「MEMS共振子による電界電子放出電流の電気機械的変調」であり、MEMS型の電界電子放出先端対の一方の電極を機械的に励振可能な共振子にすることで、2端子間の真空中を流れる電界電子放出電流を変調する機構について説明している。本研究の方法を原理的に検証するために、100kHz程度の比較的低い共振周波数をもつMEMS共振子を設計・製作し、その機械的振動によって電界電子放出電流が変調を受けることを実験的に

示している。

第5章は「考察」であり、電界電子放出電流変調型のMEMS共振子のチップ内で発生するリーク電流の存在について指摘し、デバイスを構成するシリコンとそれを被覆する薄膜金属による等価回路を考慮して、オーミック型のリーク電流と、ショットキダイオード型のリーク電流が存在することを解析的に検討している。また、単結晶シリコン製の電界電子放出デバイス上に蒸着する被覆金属薄膜の種類を変えて実験を行い、その差異を測定することにより、電界電子放出電流とそれらのリーク電流を見分ける手法について考察している。また材料の組み合わせとプロセス整合性など、デバイスの設計製作全体を考慮したリーク電流の低減方法について述べている。

第6章は「結論」で、本論文で示した成果を総括している。

以上これを要するに本研究は、電界電子放出電流変調型の振動検出器とシリコンMEMS共振器を融合した新規な真空マイクロメカニカル素子を提案し、本素子の電気機械的および電界電子放出素子としての設計法を確立するとともに、経時劣化が少なく、かつ、効率よく電子を放出する先鋭な金属被覆シリコン尖端対を製作するためのマイクロマシニング技術を新たに考案し、実際に変調素子を作製して微小振動子の検出機構としての実現可能性を確認したものであり、電気工学上貢献するところが少なくない。

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。