

100MHz 帯発振器用水晶ウエハの超精密加工に関する研究

学位論文内容の要旨

マルチメディア通信（画像、電話、ファクシミリ等）の高度情報を高速伝送するために、B-ISDN の光ファイバーを各家庭に伸ばし、ファイバー・ツー・ザ・ホームを 2010 年までに完成する目標が定められている。そのためには、各家庭の受光口に設置する光－電気変換器の電圧制御水晶発振器を高周波化する必要がある。また、電圧制御水晶発振器は光信号のタイミングに位相同期させるため広い周波数範囲で可変できる広可変量とすることが必要である。高周波化は水晶振動子の振動次数を高くすることでも実現できる。一方、発振器周波数の広可変量は基本波発振が不可欠である。それゆえ、高周波発振する厚さ $13\mu\text{m}$ 以下の水晶チップを用いた振動子の開発が緊急の技術開発課題となっている。

基本波 100MHz 以上の水晶振動子の開発は、1977 年に始まり、1985 年には化学エッチングで直径 2mm の穴を加工した、最小厚さ $0.1\mu\text{m}$ のチップで、周波数 1.6GHz に到達した。その後 10 年経過し、化学エッチングで厚さが約 $80\mu\text{m}$ の小型水晶ウエハに同時に数十箇所を約 $60\sim 70\mu\text{m}$ 堀込む加工法が開発されチップが製造されている。これは HFF と呼ばれている。しかし、彫り込みが深いため、異方性の強い水晶のエッチング技術は難しく、また結晶欠陥のない高品質の水晶原石を必要とし、信頼性、再現性、加工コストが問題となり、大量生産できない状況にある。

本研究では直径 76mm（3 インチ）ウエハを平坦に厚さ $13\mu\text{m}$ 以下に高精度ポリシングする技術を開発し、大型ウエハから 100MHz 以上の基本波を発振する水晶チップを加工し、振動子として製造する技術を実用化した研究成果について述べたものである。

- 1) 直径 76mm の水晶ウエハが厚さ $20\mu\text{m}$ までの研削加工、 $13\mu\text{m}$ までのポリシング加工に耐える強度で接着層がナノメートルレベル以下で厚さ精度に影響しないようウエハをガラス基板に貼付ける技術を開発した。
- 2) ポリシングで生ずるウエハ外周部の面だれが平行度に大きく影響することから、前加工の平面研削で凹面形状に加工し、ポリシング後のウエハの平行度を向上させる条件を明らかにした。
- 3) 各種の研磨剤を用いたポリシング実験を行い、メカノケミカル作用も期待でき加工能率が高く、ポリシングした後化学エッチングで表面粗さが低下しないコロイダルセリア研磨剤を選定した。
- 4) ポリシングパッドの粘弾性についてバーガーモデルの 4 要素を実験により求め、その振動解析をおこない、ポリシングパッドがポリシング加工でウエハの平行度修正

効果を生ずることをシミュレーションと実験から明らかにした。

- 5) 直径 76mm の水晶ウエハの中央部 54mm の面積以内を平行度 $0.3\mu\text{m}$ 以内で厚さ $13\mu\text{m}$ 以下に加工できるポリシング技術確立した。そのウエハを $4\times 2\text{mm}$ に切断したチップは良好な発振特性を示し、一枚のウエハから 250 枚以上のチップが得られた。多量生産とコスト低減の初期目的を達成することができた。
- 6) 開発した水晶チップを使用して 155.52MHz の基本波水晶振動子および広い周波数範囲の可変量の VCXO ができた。このチップは広周波数帯域を持った MCF の製造にも使用される。また、水晶チップの衝撃強さは、衝撃試験により十分な強さが確認され実用化レベルにあることを評価できた。

本研究で開発した生産工法は人手による水晶チップのハンドリングの難しさを自動機器の開発で解決できれば、B-ISDN の FTTH 化など携帯電話の MCF など適用対象製品の拡大が期待できる。加工による水晶方位の角度ずれの問題点を克服でき、より低い周波数帯の水晶チップ加工においても、同様に大きな水晶ウエハから多数枚のチップを加工する技術潮流に加速度的な影響を与えると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 池 田 正 幸

副 査 教 授 岡 田 亜紀良

副 査 教 授 武 笠 幸 一

学 位 論 文 題 名

100MHz 帯発振器用水晶ウエハの超精密加工に関する研究

最近の情報伝送・処理技術の進歩に伴って、文字情報、動画像情報、データベースの利用などための高帯域総合デジタル通信網（B-ISDN）として、光ファイバーケーブルを2010年までに各家庭へ敷設することが計画されている。この通信網の光ファイバーを利用する場合、光―電気の信号変換を高速・高精度で行うデバイスとして電圧制御水晶発振器（VCXO）やモノリシック・クリスタル・フィルター（MCF）が各家庭の情報端末機器に使用される。これらVCXOやMCFは155.52MHzの基本発振周波数と広い可変作動周波数帯域を必要とし、厚さ約13 μ m、平行度75nm/4mm以下、表面あらさ5nm以下の大きさ約2 $\times$ 4mmの水晶チップが必要である。このチップは、現在、高周波基本波フィルター（HFF）として厚さ約80 μ mの小型水晶ウエハに直径約2mm、深さ60～70 μ mのピットを個々に化学エッチングで加工することによって試作されている。しかし、この加工法では、各家庭に設置する端末機器に用いるために、短期間に発生するきわめて多量の需要に対応することはできない。

本論文は作動周波数155.52MHzのVCXOやMCFに組み込むための水晶チップを低コストで大量に生産する技術に関する研究である。すなわち、表面弾性波素子の製造などに使用されている直径約76mmの水晶ウエハを高精度、高平行度で厚さ約13 μ mに均一に加工し、周波数155.52MHzのVCXOやMCFをウエハから一括して製造する技術を実用化したものである。本研究の成果を次のようにまとめることができる。

- (1) 厚さのばらつきが5 μ m程度あるウエハを0.3 μ m以下に両面加工できる、ラッピングおよびポリシング加工におけるウエハの配置をシミュレーションによって明らかにした。
- (2) ウエハを研削加工およびポリシング加工が可能な強度で平行度に影響しないナノメートルの精度でガラス基板に接合、剥離する技術を開発し、複合板として加工に採用した。
- (3) 加工応力と温度上昇に起因する相変態で生ずる双晶を抑制し、ポリシング工程で生ず

るウエハ外周部の面だれを補正する形状で厚さ $20\mu\text{m}$ までの研削する適性条件を明らかにした。

- (4) 従来用いられている砥粒に比べても70%以上の加工能率を示す砥粒を実験的に選定し、高い平面度が得られるポリシング加工機の運転条件をシミュレーションによって求め、直径約76mmの水晶ウエハを平行度 $0.3\mu\text{m}$ 以下、厚さ約 $13\mu\text{m}$ 以下にポリシングできる技術を開発した。ポリシングした面はエッチングによって表面あらさが低下せず5nm以下が得られた。また、加工面性状のナノメータレベルのAFMによる詳細な観察と砥粒の物理化学的特性からポリシングの機構が砥粒の水晶に対するメカノケミカル作用に基づくことを明らかにした。
- (5) ポリシャの粘弾性動特性を実験的および理論的に検討し、その特性が水晶ウエハの平面度向上に重要な効果のあることを明らかにした。

これらの研究成果を応用して、実際にポリシングした1枚のウエハから250以上の水晶チップを製作した。それらのチップを採用した小型軽量のVCX0は現在の試作でバイスに比較して体積約1/14、100ppm以上の周波数可変量をもち、電気的特性、機械的衝撃強度でも十分実用レベルにある。

これを要するに、筆者は大型水晶ウエハの薄片化加工技術を総合的に研究し、情報機器の普及においてキーデバイスとなる 155.52MHz VCX0とMCFの生産に必要な水晶ウエハからチップ製造技術までの新しい加工工程を開発したものであり、水晶のような硬脆材料の超精密加工学、通信デバイス工学の分野の進展に貢献するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。