

氏 名	青 木 孝 志 <small>あおき たかよし</small>
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 981 号
学位授与の日付	昭 和 52 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	<b>Radiation Damage in Quartz Resonators</b> (水晶振動子の放射線損傷)

論文調査委員 (主査) 教授 向坂正勝 教授 兵藤知典 教授 福田国弥

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、水晶振動子に電子線およびアルファ線を照射して放射線損傷を起こさせ、振動周波数の微小な変化を測って力学的な変化を推定するとともに、不純物の寄与を光学的測定法によって知り、これらの相互関係を研究したものであって8章よりなっている。

第1章は序論であり、水晶振動子の特徴と本研究の目的とについて概説している。

第2章では、水晶の結晶としての構造、性質および一般的に含まれる不純物原子とその結晶内位置につき述べるとともに、天然水晶と人工水晶とでは不純物濃度に大差があることを示し、その重要性を強調している。さらに結晶の切断角度によって、X-, Y-, AT-, BT- カットなどと呼ばれることを述べている。

第3章は水晶振動子の製法につき論じている。本研究では市販の振動子が実験に不適であり、そのため著者は水晶板の研磨とエッチング、並びに電極の取付けに独自の工夫をこらし、寄生振動の極めて小さい振動子を作りあげている。

第4章は各種の薄い水晶振動子に1 MeV の電子線を照射した実験について述べている。すなわち歪みすべり振動の周波数  $f$  を照射線量  $\Phi$  の関数として画くとき、天然水晶と人工水晶とで周波数変化率—線量すなわち  $\Delta f/f-\Phi$  曲線に大きな差が生ずることを示し、その原因が特に不純物のアルミニウムやナトリウムにあると確認している。

第5章では  $\Delta f/f-\Phi$  の関係から水晶の断熱弾性定数の変化率を求めている。周波数  $f$  は水晶の寸法、カット角度、密度のほか、3つの弾性定数  $c_{44}$ ,  $c_{14}$ ,  $c_{66}$  でさまるが、電子照射による一様損傷のばあいでは

$$\frac{\Delta c_{44}}{c_{44}} : \frac{\Delta |c_{14}|}{c_{14}} : \frac{\Delta c_{66}}{c_{66}} = 1.3 : 3.1 : 1.0$$

の関係があることを認め、さらにこの結果から、AT-カットの水晶が BT- や Y- カット水晶に比べて

$\Delta f/f-\Phi$  の様相が異なることが導かれるとしている。

第6章は、天然と人工の水晶振動子5種を選び、 $\Delta f/f-\Phi$  の特性と不純物との関係を調べている。分光光度計を用い、不純物の示す光吸収量を照射線量の関数として測った結果、酸素原子の空孔が関与する複合中心やアルミニウムが周波数変化すなわち力学的変化に大きく寄与することを認めている。

第7章では振動子に $^{252}\text{Cf}$  のアルファ線を照射して、これまでと同様な実験を行った結果について述べている。アルファ線は飛程が短いので、試料の片面にのみ損傷が蓄積してくる。そのため  $\Delta f/f-\Phi$  の関係は

$$(\Delta f/f)/\Phi = -2 \times 10^{-17} \text{cm}^2/\alpha$$

の直線状となるが、この原因として著者は、損傷部が膨張したか、もしくは損傷による歪みが生じている可能性を指摘し、他の実験事実と関連させて定量的な説明を加えている。

第8章は結語である。

### 論文審査の結果の要旨

放射線の強い被ばくによって生じた諸材料の損傷は、動力炉、加速器および将来の核融合炉の工学上、極めて重要な研究対象である。とくに損傷による力学的特性の変化を知るとは、材料試験用の原子炉を用いて行われているが、中性子によって試料が強い放射能を帯びるため、その実験は容易でない。本論文は、試料として水晶振動子を選び、電子線やアルファ線を照射して損傷を起こさせたときの力学的変化を共振周波数の微小な変化 ( $10^{-5}$  程度) として観測するとともに、不純物の寄与を光学測定によって調べたものであり、次のような新しい知見をえている。

1. 水晶振動子の歪みすべり振動の周波数変化率  $\Delta f/f$  と照射線量  $\Phi$  との関係は、結晶のカット角度、不純物濃度、電極構造などによって大きく異なる。著者は天然および人工水晶を用いた数100個の試料につき詳細な検討を加え、特に電極配置に工夫をこらして  $\Delta f/f-\Phi$  の関係を統一的かつ定量的に明らかにした。
2. 電子照射で水晶内に一様損傷ができるばあい、(断熱)弾性定数  $c_{44}$ ,  $c_{14}$  および  $c_{66}$  の変化率と照射線量  $\Phi$  の関係を求め

$$\Delta c_{44}/c_{44} : \Delta|c_{14}|/|c_{14}| : \Delta c_{66}/c_{66} = 1.3 : 3.1 : 1.0$$

が  $\Phi = 10^{13} \sim 10^{17} \text{ electrons/cm}^2$  の範囲で成り立つことを認めた。この結果を用い、Y- や BT- カットの振動子が AT- カットの振動子と異なる  $\Delta f/f-\Phi$  の様相を示すこれまでの実験結果に対して、合理的な説明を加えた。

3.  $^{252}\text{Cf}$  のアルファ線で照射するとき、 $\Delta f/f-\Phi$  は

$$(\Delta f/f)/\Phi = -2 \times 10^{-17} \text{cm}^2/\alpha$$

との直線関係を見出し、この理由として、振動子の片面がアルファ線の飛程数  $10\mu\text{m}$  にわたって損傷を受け、内部歪みが生じている可能性を指摘し、歪みの大きさを推定した。

4. 照射された試料の光吸収スペクトルと  $\Phi$  および  $\Delta f/f$  の関係を調べ、不純物のアルミニウム原子が空孔をもつ酸素原子と結びついた複合センターが、線量の小さい領域で周波数変化に寄与することを

見出した。さらに線量の大きい領域では、水晶の格子原子が叩き出された効果が急増してくることを示した。

以上要するに本論文は、水晶振動子の特性を利用し、放射線損傷が結晶の力学的性質にどのような変化を与えるかにつき研究したものであり、カット角度、不純物、電極の形など、従来不確定であった部分を実験的事実に基づき詳しく解明しており、学術上實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。