

論文

マイクロ波誘電体セラミックスの電気的特性に及ぼす 線照射効果

福地良一\* 関口孝之\* 木崎勝\*\* 橋本欣也\*\* 山本克美\*\* 小杉正圀\*\*\*

Effects of  $\gamma$ -irradiation on the electrical properties of microwave dielectric ceramics

Ryouichi FUKUCHI, Takashi SEKIGUCHI, Masaru KIZAKI, Kinya HASHIMOTO, Katsumi YAMAMOTO and Masakuni KOSUGI

**Abstract** Irradiation effects of  $\gamma$ -rays on the microwave dielectric properties (relative dielectric constant  $\epsilon_r$ , Dielectric loss  $\tan \delta$ ) and dielectric breakdown strength (AC and DC voltage) for three different types of microwave dielectric ceramics (alumina, aluminium nitride, zirconium tin titanate) were studied by comparison with some non-irradiated ceramic samples. The samples were irradiated with  $\gamma$ -rays at room temperature using a  $^{60}\text{Co}$  source. After irradiation, the dielectric properties of the samples were measured by means of reflection measurement techniques using a network analyzer in a microwave frequency range from 0.1GHz to 20GHz at room temperature. No changes were recognized in the dielectric properties of the samples irradiated with  $\gamma$ -rays at a dose range from 300kGy to 5000kGy. For dielectric breakdown strength of the irradiated samples, it was found that only DC breakdown strength of the irradiated aluminium nitride decreased from 94kV/mm to 39kV/mm at a dose of 1kGy and no changes were observed in the other irradiated samples.

**Keywords** Microwave dielectric ceramics,  $\gamma$ -ray, Irradiation effects, Alumina, Aluminium nitride, Zirconium tin titanate, Dielectric property, Dielectric breakdown

1. はじめに

情報量の増大にともない、より周波数の高いマイクロ波が、衛星放送や移動体通信などに利用されるようになってきている。これらの技術革新の背景には、誘電体セラミックスの開発による電子部品の高性能化、小型化、軽量化などが大きく貢献している。マイクロ波通信機器などに用いられる誘電体セラミックスは、誘電体基板、誘電体導波線路、コンデンサ及び誘電体共振器など多方面で利用されている。しかし、通信衛星、放送衛星及び原子力施設など放射線の存在する場での電気的特性についてはいまだ明らかにされていない。そこで、誘電体基板として用いられているセラミックスとしてアルミナを、また、これからの利用が期待されている窒化アルミニウムを試料として選んだ。また、誘電体共振器として用いられているセラミックスとしては、 $(\text{Zr}, \text{Sn})\text{TiO}_4$ を試料として選んだ。これらの誘電体セラミックスに線

を照射し、マイクロ波領域での誘電特性（比誘電率，誘電正接）及び絶縁破壊特性（交流，直流）の変化を調べたので報告する。

2. 方法

2.1 試料

表1 測定試料

特性 試料	マイクロ波 誘電特性	絶縁破壊特性
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (99.5%)	40mm × 15mm	0.6 × 50 × 50mm
窒化Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31 × 31 × 15mm	0.6 × 50 × 50mm
(Zr, Sn)TiO <sub>4</sub>	35mm × 15mm	0.5 × 50 × 50mm

\*放射線応用技術グループ

\*\*電気応用技術グループ

\*\*\*電気応用技術グループ(現技術評価室)

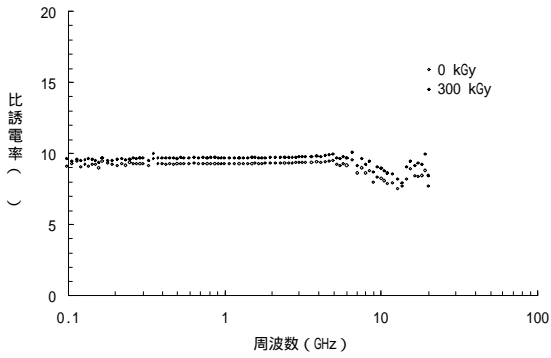


図1 アルミナのマイクロ波誘電特性 (比誘電率) と線照射効果

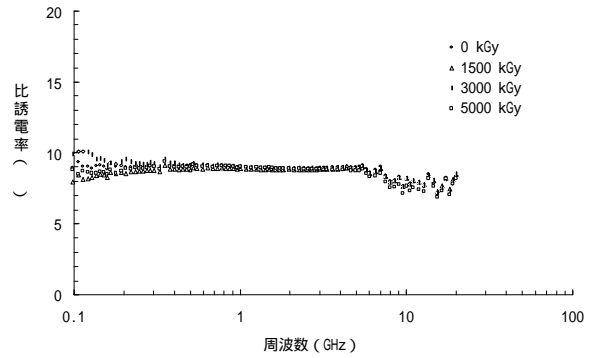


図3 窒化アルミニウムのマイクロ波誘電特性 (比誘電率) と線照射効果

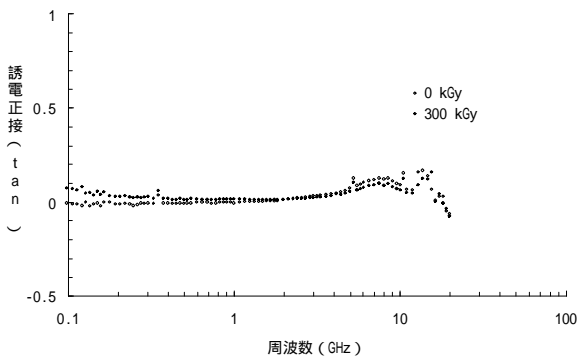


図2 アルミナのマイクロ波誘電特性 (誘電正接) と線照射効果

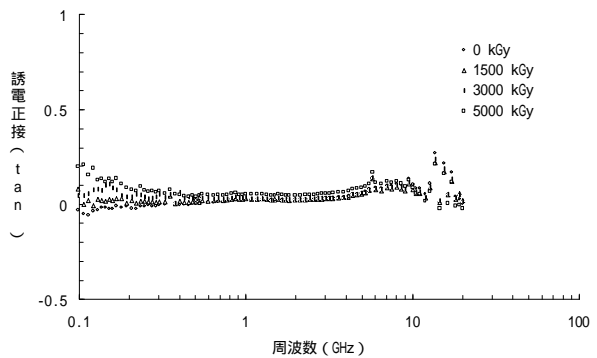


図4 窒化アルミニウムのマイクロ波誘電特性 (誘電正接) と線照射効果

マイクロ波誘電特性と絶縁破壊特性の測定に用いた試料のサイズを表1に示す。

なお、超低周波誘電特性の測定に用いた試料は、アルミナ (96% 1.0×35×35mm) である。

### 2.2 線照射

線源として<sup>60</sup>Coの線を用い、空气中・室温で照射した。マイクロ波誘電特性の場合、線量率を16.7kGy/hrで一定にし、ある線量まで試料が照射されたところで測定し、その後同じ試料に次の線量までさらに照射されたところで測定をすることを繰り返した。

超低周波誘電特性の場合は、17.6kGy/hrの線量率で300kGy照射した。

絶縁破壊特性の場合は、照射時間を窒化アルミニウムで1時間、アルミナと(Zr,Sn)TiO<sub>4</sub>で18時間と固定し、線量率を変化させることにより各線量を照射した。

### 2.3 誘電特性の測定

マイクロ波領域の場合は、反射法により、ネットワーク・アナライザを用いて0.1GHz ~ 20GHzの周波数領域で比誘電率と誘電正接を測定した。

超低周波領域の場合は、誘電率測定装置を用い、0.1Hz ~ 10kHzの周波数領域で比誘電率と誘電正接を測定した。

### 2.4 絶縁破壊特性の測定

交流の絶縁破壊電圧の場合は、電気用セラミックス試験法 (JIS C 2110) により、電極として平板 - 平板 (JIS C 2141) を用い、電圧上昇速度を1kV/secにして、照射終了3~6hr後に油中・室温で測定した。直流の場合は、電圧上昇速度を1.4kV/secとし、交流の場合に準じて測定した。測定値としては、同一条件における6枚の試料の破壊強度の平均とした。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 マイクロ波誘電特性

図1と図2に、アルミナに線を300kGy照射した時の比誘電率と誘電正接の変化を示す。図3と図4に、窒化アルミニウムに線を5000kGyまで照射したときの比誘電率と誘電正接の変化を示す。図5と図6に、(Zr, Sn)TiO<sub>4</sub>に線を5000kGyまで照射したときの比誘電率と誘電正接の変化を示す。ここで照射した線量範囲においては、これらの3種類の試料のいずれにおいても、比誘電率、誘電正接ともに明瞭な照射効果は認められなかった。

### 3.2 絶縁破壊特性

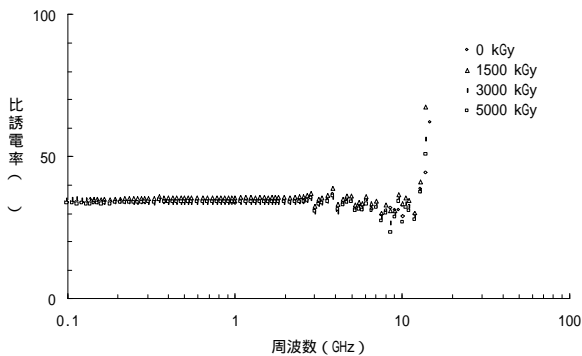


図5 (Zr,Sn)TiO<sub>4</sub>のマイクロ波誘電特性(比誘電率)と線照射効果

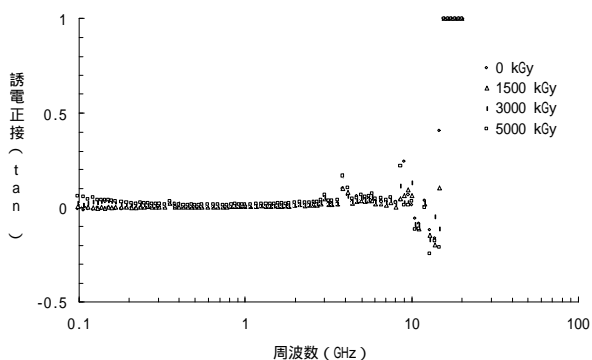


図6 (Zr,Sn)TiO<sub>4</sub>のマイクロ波誘電特性(誘電正接)と線照射効果

図7に、アルミナに線を300kGyまで照射した時の交流及び直流の絶縁破壊強度の変化を示す。図8に、窒化アルミニウムに線を10kGyまで照射した時の交流及び直流の絶縁破壊強度の変化を示す。図9に、(Zr,Sn)TiO<sub>4</sub>に線を300kGyまで照射した時の交流及び直流の絶縁破壊強度の変化を示す。これらの中で、顕著な照射効果があったのは、窒化アルミニウムの直流の場合のみだった。この場合の絶縁破壊強度は、未照射で94 kV/mmだったものが1kGyの照射で39kV/mmに低下した。

### 3.3 超低周波誘電特性

図10と図11に、線を300kGy照射したときの比誘電率と誘電正接の変化を示す。図10から、比誘電率は、未照射の場合0.1Hz ~ 10kHzの全領域で8.1とほぼ一定だが、300kGy照射すると1kHzから低周波数になるにしたがって徐々に増加し、0.1Hzで11.0になった。図11から、誘電正接は、未照射の場合0.1Hz ~ 10kHzの全領域で0.02よりも小さいが、300kGy照射すると1kHzから低周波数になるにしたがって加速的に増加し、0.1Hzで1.13になった。

### 3.4 照射効果と空間電荷

図1から図6までのマイクロ波領域における誘電特性に関しては、いずれの試料においても顕著な照射効果は

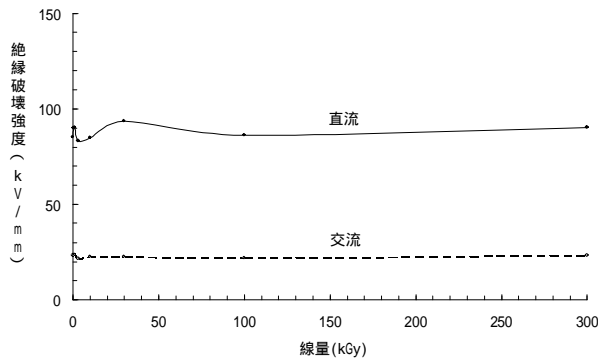


図7 アルミナの絶縁破壊強度と線照射効果

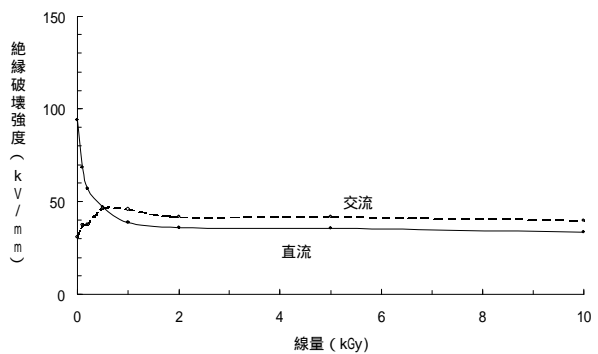


図8 窒化アルミニウムの絶縁破壊強度と線照射効果

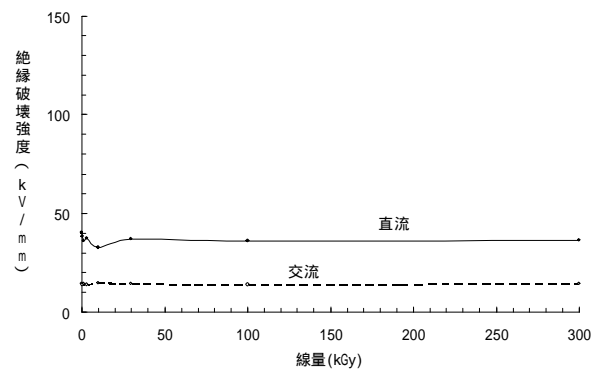


図9 (Zr,Sn)TiO<sub>4</sub>の絶縁破壊強度と線照射効果

認められなかった。しかし、以前に報告<sup>1)2)</sup>したように、窒化アルミニウムでは、100kHzより低い周波数領域においては誘電特性に線照射効果があり、そのときの照射による変化は、照射終了時から時間の経過につれて自己回復する現象が観られた。また、図10、図11に示す様に、アルミナにおいても、100Hzより低い周波数領域においては、誘電特性に線照射効果が観られた。これらのことから、誘電体セラミックス試料に関する誘電特性の線照射効果は、試料の種類により現れる周波数領域が異なっていると考えられる。

試料に線を照射すると、試料内部でイオン化が起こ

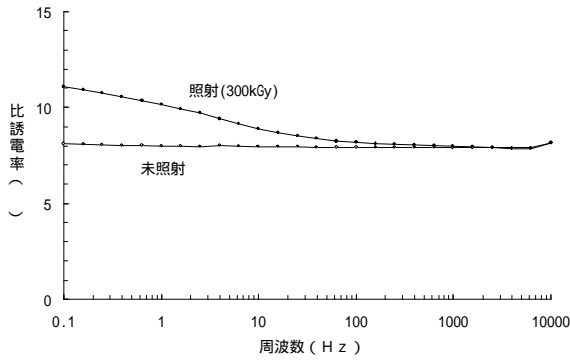


図10 アルミナの超低周波誘電特性(比誘電率)と線照射効果

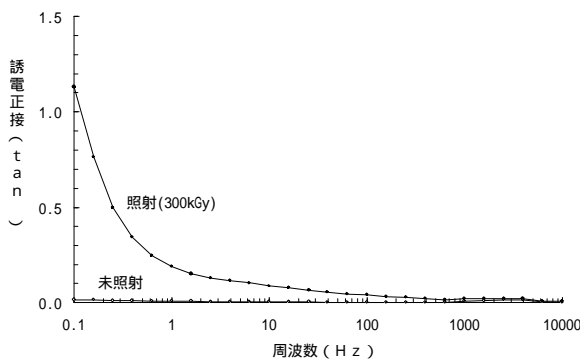


図11 アルミナの超低周波誘電特性(誘電正接)と線照射効果

り、そのとき放出された電子が一旦トラップサイトにトラップされて空間電荷を形成する。その後、伝導帯に徐々に熱的に励起されてプラスイオンと再結合する。この時伝導帯に励起された電子が、誘電特性測定時の交流電場によりドリフトするが、セラミックス試料の結晶粒界の界面ポテンシャルにより、その電子の一部が堰き止められることによって界面分極が生じる。誘電特性の線照射効果は、この界面分極に起因しているものと考えられる。この伝導帯に励起された電子濃度が高いほど、試料の分極が、より速い交流電場の変化に追従できるものと考えられる。したがって、アルミナ、窒化アルミニ

ウム、 $(Zr, Sn)TiO_4$  に関して、マイクロ波領域(0.1 GHz ~ 20GHz)において、誘電特性に線照射効果が認められなかったのは、トラップサイトの数が少ないか、トラップレベルが深くて熱的に励起されにくい、または、トラップレベルが浅すぎて再結合が終了したため伝導帯にいる電子の数が少なく、GHz 領域の速い電場変化に追従できなかった為と考えられる。

絶縁破壊特性の線照射効果に関して、線照射により特性に変化が認められたのは、窒化アルミニウムの直流の場合のみである。これは、上で述べた伝導帯に励起された電子が、絶縁破壊の原因になる電子なだれを起こす元の電子になることにより、直流の絶縁破壊強度を低下させたものと考えられる。

以上のことから、セラミックスの線照射効果は、照射により試料内部に発生した空間電荷と、トラップされた電子の熱的励起によるプラスイオンの再結合による空間電荷の解消過程により、誘電特性や絶縁破壊特性などの電気的特性に変化をもたらしている現象と考えられる。

#### 4. ま と め

アルミナ、窒化アルミニウム、 $(Zr, Sn)TiO_4$  に線を照射し、マイクロ波領域(0.1GHz ~ 20GHz)の誘電特性(比誘電率、誘電正接)と交流及び直流の絶縁破壊特性の変化を調べた。この中で、照射効果が認められたのは、窒化アルミニウムの直流・絶縁破壊特性だけであり、絶縁破壊強度が1kGyの照射で94kV/mmから39kV/mmに低下した。その原因としては、照射により試料内部に発生した空間電荷の熱的励起によるプラスイオンの再結合過程が関与していると考えられる。

#### 参 考 文 献

- 1) 福地良一, 関口孝之, 中川清子: 東京都立アイソト - プ総合研究所平成6年度年報 7-9 (1995).
- 2) 福地良一, 関口孝之: 東京都立アイソト - プ総合研究所研究報告 14 15-20 (1997).

(原稿受付 平成11年8月9日)