

1. 緒言

チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) は、圧電効果と圧電逆効果を持つ材料であり、センサ、アクチュエータ等に広く利用されている。PZT 分極材に繰返し電界が負荷される場合、材料中にき裂が発生しこれが進展することが知られている。これまで研究室では、切欠きを有する PZT 分極材に正弦波状の繰返し電界を負荷したとき、切欠き底より発生したき裂が進展する挙動について調査を行ってきた。その結果、繰返し電界が大きくなると材料内部で分極反転が生じ、これがき裂進展に影響を及ぼし、進展が助長、加速されることが分かった。

本研究では、圧電アクチュエータを駆動する際、多く使用される矩形波や台形波の繰返し電界を負荷したときのき裂進展挙動を調査し、正弦波によるこれまでの結果と比較した。

2. 実験方法

実験には、板厚方向に分極された PZT 分極材 (5×5×1mm) を試験片として用いた。試験片の板厚中央部に長さ約 2mm の切欠きを導入した。シリコンオイルで満たした油槽中に試験片を固定し、矩形波および台形波の電圧を印加した。各波形の模式図を比較する正弦波と合わせて図 1 に示す。負荷条件は、周波数 5Hz で矩形波については±400V, ±500V, ±600V および±700V、台形波については±600V および±700V とした。測定間隔はき裂進展に応じた間隔で定め、き裂長さ c を測定し、電界負荷 1 サイクル当たりのき裂長さの増分をき裂進展速度 dc/dN と定めた。48 時間電界を負荷した後もき裂進展が生じなければ停留とみなし、実験を打ち切った。

また実験が終了した試験片をき裂に沿って長手方向に強制破断させ、走査型電子顕微鏡 (SEM) により切欠き先端から 0.2mm 間隔でき裂先端まで破面の観察を行った。

3. 実験結果および考察

図 2 にき裂長さ c と電界負荷繰返し数の関係を示す。いずれの条件でも繰返し電界を負荷すると切欠き底にき裂が発生し、その後多くの場合徐々に進展の速度が低下しやがてき裂は停留する。図の矢印はき裂の停留を表している。また過去の研究で得られた正弦波電圧下での結果を比較のため実線で図中に示した。正弦波の結果と比較すると、矩形波および台形波状電圧下ではき裂進展が助長される傾向があり、き裂進展量は大きい。例えば±500V で停留したき裂長さを比較すると矩形波の場合正弦波より約 0.9mm 長くなっていた。

矩形波のき裂進展速度 dc/dN は、電界が大きくなるほど進展速度のばらつきが大きく、進展速度が一度低下し再び増加する挙動も観察できた。±400V は進展速度に関しても正弦波との大きな差は見られず直線的に低下し、最終的にき裂は停留した。

圧電体に、抗電界以上の電界を負荷した時、分極反転が生じる。本実験での矩形波あるいは台形波状電圧では正弦波状電圧と比べ、ある値以上の電圧が印加される時間が相対的に長くなる。よって、抗電界を越えるような矩形波あるいは台形波状の交流電圧では、時間依存現象の分極反転が生じ易くなると言える。このため、矩形波の±500V でも一部分極反転によりき裂進展が助長されたと思われる。

図 3 に±600V、矩形波で実験した試験片の SEM 写真を示す。一般的に機械的負荷で破壊した場合、粒内割れが支配的となり、電界負荷によるき裂破面は、粒界割れが支配的になる。

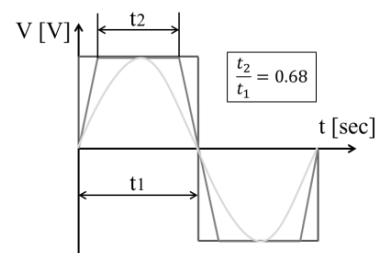


図 1 電圧波形の模式図

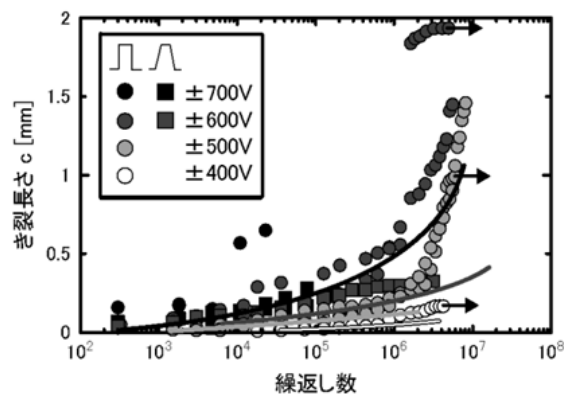


図 2 き裂長さ c と繰返し数の関係

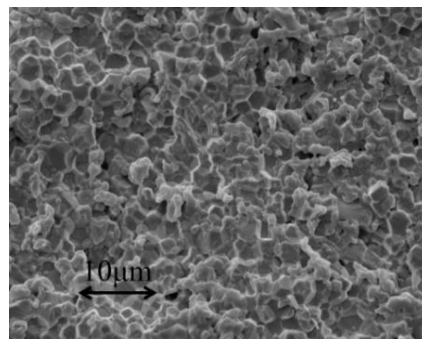


図 3 ±600V、矩形波の破面様相

図 3 に示すように、矩形波の繰返し電界によって進展した破面も粒界割れが支配的であった。このことは切欠き底からの距離、試験片の表面、中央等で大きな差は無かった。

PZT は多結晶体であり、一般的に結晶ごとに分極方向が異なる。これにより電界が負荷された時、変形する方向が異なり粒界近傍に応力集中が生じる。この結果、粒界でき裂が進展したと考えられる。

4. 結言

PZT に矩形波電界を負荷した場合、正弦波と比較して分極反転が生じた結晶が増加し、き裂進展量が増加し、進展速度のばらつきも大きくなる。また±500V 以上では特にその傾向が強くなる。破面様相は試験片の位置に関係なく粒界割れが支配的である。

参考文献

省略