

焦電性結晶の熱励起により発生する X 線強度の安定性に及ぼす 結晶形状とサイズの影響に関する研究

Study on the Effect of the Crystal Shape and the size on the Intensity-stability of X-rays
Emitted by Thermal Excitation of Pyroelectric Crystals

○西村 駿哉¹, 伊藤 嘉昭², 佐藤 祐喜¹, 吉門 進三¹ (1.同志社大院理工, 2.京大化研)
○Shunya Nishimura¹, Yoshiaki Ito², Yuuki Sato¹, Shinzo Yoshikado¹
(1.Doshisha Univ., 2.ICR, Kyoto Univ.)
E-mail: syoshika@mail.doshisha.ac.jp

【はじめに】 現在一般的に X 線発生に用いられているのは X 線管を用いた発生法である。しかし高電圧源が必要であるため、装置として大型になる欠点がある。そこで本研究では装置を小型化するために、焦電性結晶の熱励起による X 線発生法に注目した。この方法では分極を揃えた焦電性結晶の温度を変化させることで高電界が発生し、これにより真空中において電子を加速して結晶やそれに対向するターゲットに衝突させて制動放射により X 線が発生するために高電圧源を必要としない^[1]。しかし現段階では X 線管を用いた発生法に比べ、発生する X 線は断続的、強度が不安定、強度が小さい欠点がある。その内、強度の不安定性は結晶面に生じる電荷が結晶の外表面に沿って放電することと、高電界により結晶内で絶縁破壊が生じ一時的に高電界が消滅し X 線発生が停止することによる。後者は結晶の劣化を引き起こす。直方体形状の結晶を用いた場合、沿面放電は結晶によって作られる電界強度が大きい結晶のコーナーで生じる。前回までに結晶をコーナー部分が少ない形状、例として半球形状にすることで電界強度の偏りが緩和され、不安定性が改善されることを報告した。しかし同程度サイズの直方体形状と比較して X 線強度が小さくなった。本研究では半球形状結晶の大きさを変化させ、それが X 線強度に及ぼす影響について評価したので報告する。

【実験方法】 焦電性結晶として *c* 軸 (*z* 軸) 方向に分極を揃えた LiTaO₃ 単結晶 (山寿セラミックス) を用いた。半径が $r=2.5$ (半球 1), 5.0 (半球 2), 7.5 mm (半球 3) の 3 種類の半球形状の結晶を用いた。半球面が $-z$ 面, 底平面が $+z$ 面となるように加工した。半球状結晶の頭頂部から距離 $d=10$ mm の位置に厚さ $20 \mu\text{m}$ の Cu 箔ターゲットに対向させ、結晶の $+z$ 面をペルチェ素子に導電性テープで固定した。筐体、ターゲット、結晶の $+z$ 面を電氣的に接地した。結晶を真空容器内に設置しその圧力を約 2×10^{-4} Pa とした。三角波電圧をペルチェ素子に印加することで結晶の温度を周期的に変化させた。温度変化の周期を 1000 秒, 温度変化幅 ΔT を $40 \sim 70^\circ\text{C}$ とした。AMPTEK 社製の Si 検出器 (XR-100CR Si-PIN X-Ray Detector) およびマルチチャンネルアナライザを用いて X 線のスペクトル強度を 80 周期測定した。

【実験結果】 Fig. 1 に ΔT , 結晶の半径 r を変化させたときの X 線光子の周期ごとの平均計数率を示す。Table1 にその平均計数率を全周期で平均化した値を示す。半径の大きい半球 3 を用いた場合, 半球 1 の場合と比較して X 線強度は $\Delta T=40^\circ\text{C}$ で約 24 倍, $\Delta T=50^\circ\text{C}$ では約 8 倍, $\Delta T=60^\circ\text{C}$ では約 23 倍, $\Delta T=70^\circ\text{C}$ では約 73 倍大きくなった。 $\Delta T=70^\circ\text{C}$ で最大の X 線強度比が得られた。ここで半球がターゲット位置の中心近傍に作る電界の z 方向成分は, 分極ベクトルの大きさが等しいと仮定して計算した場合, 半球 3 は半球 1 の約 6.4 倍となった。しかし実験で得られた X 線強度比は全てそれよりも大きい値であった, この結果より X 線強度が電界強度に正比例するのではなく, 電界強度に対して非線形的に依存することが示唆された。 [1] J. D. Brownridge et al., J. Appl. Phys., 86, p.460 (1999)

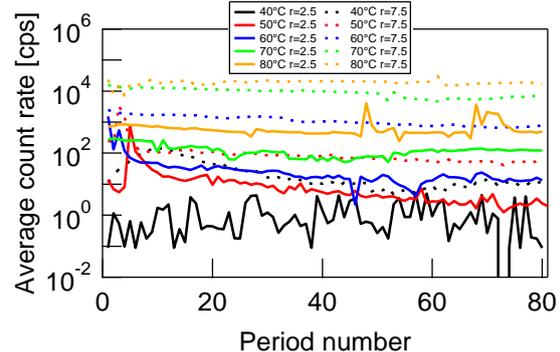


Fig.1 Average count rates of X-ray photons per cycle for various values of both r and ΔT .

Table1 Average values of count rate for various values of both r and ΔT .

	ΔT [$^\circ\text{C}$]	40	50	60	70
		計数率 [cps]	1.260	18.64	50.74
		23.53倍 7.656倍 23.23倍 72.90倍			
$r = 7.5$	ΔT [$^\circ\text{C}$]	40	50	60	70
		計数率 [cps]	29.65	142.7	1179