KMgF3結晶の真空紫外線発光特性

前尾修司 A,B、河口範明 ^c、柳田健之 ^A、横田有為 ^A、福田健太郎 ^c、吉川彰 A,D 東北大学多元物質科学研究所 ^A 財団法人医療機器センター^B 株式会社トクヤマ 研究開発部門 仙台研究開発センター^C 東北大学未来科学技術共同研究センター^D

Vacuum Ultra Violet luminescence properties of KMgF₃

S. Maeo^{A,B}, N. Noriaki^C, T. Yanagida^A, Y. Yokota^A, K. Fukuda^C and A. Yoshikawa^{A,D} *IMRAM, Tohoku University*

JAAME

Research Lab.(Sendai), Research & Development Div., Tokuyama., Co. Ltd. NICHe, Tohoku University

Response speed of the scintillator material is depended on the luminescence wavelength. It is required that the luminescence wavelength should be short in vacuum ultra violet (VUV) for high speed response. KMgF₃ crystal has high speed response by core-valence band luminescence. In this report, the crystal was grown by Cz method. Transmittance, cathode luminescence, and X-ray luminescence were evaluated. Then, the crystal showed high clarity and short wavelength luminescence of approximately 150 nm. In addition, the radiation responses of γ -rays and β -rays were measured by the photomultiplier tube (PMT) for VUV. As results, the signal of each γ - and β -rays could be detected. However, the signal level was small because the quantum efficiency of the PMT is insufficient. As the future plan, the light detector with high quantum efficiency should be applied, for example the Micro Strip Gas Chamber or Micro Pixel Chamber.

1. はじめに

近年の計測技術の多くは光計測に限らず 高速応答への対応が迫られ、その研究開発 が進められている。放射線計測においても 例外ではなく、応答速度の速いものが望ま れる。半導体素子により直接放射線を受け、 測定するものは十分な応答速度を有してい るが、高エネルギー放射線の計測や中性子 線の測定では直接計測することが難しく、 シンチレータなどを介した計測が必要とな る。しかしながらシンチレータ結晶の応答 速度を上げるためには真空紫外線(VUV)領 域で発光するような波長の短いものを用い る必要があり、それに対応する受光素子も VUV 領域で感度の高いものを用いる必要 がある。これに対して Micro Strip Gas Chamber (MSGC)[1] や Micro Pixel Chamber (μ-PIC)[2]などのガスカウンター が開発されており、短波長の光に対して高 い量子効率を有しつつ、安価に供給される ことが期待されている。

この VUV 発光シンチレータとガスカウ ンターを組み合わせた検出器が開発されれ ば、例えばセラミックスシンチレータと高 価な Si 半導体を用いた X 線 CT 用の検出器 の代替も期待できる。

この様な背景から、本研究ではこのよう な VUV 領域で発光する放射線検出用シン チレータ結晶を開発し、その光学的特性の 評価、放射線応答特性の評価を目的とした。 シンチレータ結晶としては応答速度の速い コア-バレンスバンド間の発光[3]を生じる KMgF₃ 結晶をチョクラルスキー法(Cz 法) により作製した。また育成した結晶の光学 的特性を評価したので報告する。

2. 試料準備

Cz法を用いて KMgF3 結晶を[111]および [100]方位に成長させたものを2種類用意し た。結晶育成条件は Table 1 に示した。

作製した結晶の構造的欠陥をX線トポグ ラフィーにより評価した。Fig. 1 に示す通 り、[111]方向に成長させた結晶は欠陥が多 く、[100]方向についてはほとんど確認でき なかった。したがって、光物性評価には [100]方位に成長させたものを用いた。 作製した結晶を加工、研磨し、透過率の測 定を行った。

Table 1	Crystal	growth	condition
---------	---------	--------	-----------

	5 8	
Seed crystal	KMgF ₃ (111)	KMgF ₃ (100)
Diameter	30.0 mm	59.0 mm
Growth rate	1.0 mm/h	2.0 mm/h
Rotation rate	10 rpm	15 rpm
Starting material	KF, MgF ₂ (99.99%) (Stera chemifa Co. Ltd.)	KF, MgF ₂ (99.99%) (Stera chemifa Co. Ltd.)
Atmosphere	Ambient Ar : CF ₄ =95 : 5	Ambient Ar : CF ₄ =95 : 5
Melting temperature	1200	1200



(a) Growth direction is (111). (b) Growth direction is (100).

Fig. 1 KMgF₃ single crystal. Upper side images show photographs, lower side images show the X-ray topography.

3. 実験

透過スペクトルは UV/VIS 分光光度計(日本分光 V550)を用いた。その原理図をFig. 2 に示した。

また発光波長の評価を行うために電子線 励起スペクトルおよび X 線励起スペクトル の測定を行った。X 線励起スペクトルは透 過スペクトルと同様に V550 で測定した。 電子線励起スペクトルは Fig. 3 に示したシ



Fig. 2 Schematic diagram of the spectrophotometer (V550).



Fig. 3 Schematic drawing of the cathode luminescence measurement.

ステムで測定を行った。

さらに 線および 線に対する応答特性 を測定するために、Fig.4 のように CsI 光電 面を有する光電子増倍管(浜ホト; R6835)に 結晶を光学グリスにより接着し、パルスハ イト測定を行った。



Fig. 4 Schematic drawing of γ or β -ray response measurement.

4. 結果

Fig. 5 に、育成した KMgF3 単結晶の吸収 スペクトルを示した。これより、吸収端が 約 140 nm にあることが確認できた。また 150 nm 以上には強い吸収みられず、概ね 80%程度を示していることが確認できた。

電子線励起スペクトルおよびX線励起ス ペクトルの測定結果をFig.6、Fig.7に示 した。実線が今回作製したによるもので、 破線は参照用として BaF2 単結晶によるも のを併記した。KMgF3 単結晶のコア-バレ ンス間の発光の発光波長ピークは 150 nm



Fig. 5 Absorption spectrum of KMgF₃.





Fig. 7 Cathode luminescence spectra of $KMgF_3$ and BaF_2 .





程度であることが確認でき、BaF2単結晶と 比べて短波長に表れていることがわかった。

また 線および 線照射による応答特性 評価の結果を Fig. 8、Fig. 9 に示した。共 に破線で示したスペクトルは結晶を外した 測定結果であり、ノイズおよび 線および

線が直接 PMT と起こした相互作用の結 果である。つまりここではバックグラウン ドと考えてよい。そのバックグラウンドと 比較すると結晶からのシンチレーション光 を検出していることが確認できた。しかし ながら検出した信号はバックグラウンド成 分との分離ができるほどのピークにはなら なかった。

5. まとめ

本研究では MSGC や µ-PIC などのガス カウンターにおいて量子効率の高い波長域 で発光するシンチレータの開発を試みた。 そのためコア-バレンス間で発光を示し、波 長域が150 nm 付近である KMgF₃単結晶に 着目した。この結晶を Cz 法により育成し、 [100]方向への成長で良好な結晶を得た。

作製した結晶を用いて、発光特性を評価 したところ、約150 nm 付近での発光波長 ピークを確認することができ、 線や 線 のスペクトル測定に成功した。しかしなが らバックグラウンド成分との分離までには 至らなかった。

今後の課題としては、シンチレータの発 光量の増加に加え、より量子効率の高いガ スカウンターとの組み合わせによる信号強 度の増加を目指す。

参考文献

[1] A. Oed et al., Nucl. Instr. Meth., A 263, (1988) 351-359.

[2] T. Tanimori et al., New Astronomy

Reviews 48, (2004) 263.

[3] A.I. Nepomnyashchikh, E.A. Radzhabov,

A.V. Egranov, V.F. Ivashechkin, Radiat. Meas.

33 (2001) 759.