

機関番号：11301

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19686001

研究課題名 (和文)

真空紫外域で発光する新機能シンチレータ結晶材料の開発

研究課題名 (英文)

Development of new scintillator materials with vacuum ultraviolet emission

研究代表者

吉川 彰 (Yoshikawa Akira)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：50292264

研究成果の概要 (和文)：

本研究では 200 nm 以下の極短波長域に発光する新規 VUV シンチレータの開発を中心とし、新規真空紫外シンチレータの探索を行い Nd:LaF₃、Nd:LuLiF₄、Nd:LuF₃を開発した。そして、①開発した 200nm 以下の極短波長域に発光する新規 VUV シンチレータの高品質バルク単結晶および形状制御単結晶作製技術の確立、②次世代ガスカウンタと接合し、放射線励起によるシグナルの確認、③放射線 2 次元イメージの取得に成功した。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, main target is to develop new scintillator materials with VUV emission (shorter than 200nm). The following topics were intensively investigated.

1. High quality and shaped crystal growth of VUV scintillator
2. Test of radiation response using VUV scintillator with gas counter as detector
3. 2dimensional radiation mapping using above mentioned detector

The bulk crystal growth technology of Nd:LaF₃, Nd:LuLiF₄ and Nd:LuF₃ single crystal is confirmed. In addition, Alpha-ray and X-ray signal and 2 dimensional image were obtained from all the detectors.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2008 年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2009 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2010 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
総計	19,300,000	5,790,000	25,090,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物性・結晶工学

キーワード：結晶工学, 先端機能デバイス, 放射線・X線・粒子線, 医療・福祉

1. 研究開始当初の背景

人体の透過撮影診断は 1895 年の X 線の発見より連続と開発・利用が相互補完の下に進められ、近年では欠かすことのできない医療装置となっている。その中でも X 線 CT は極

めて高度な形態画像を提供するため、多くの医療機関で用いられている。しかしながら、コロンビア大学やオックスフォード大学の研究発表に見られるように、診療に伴う被曝量が高いことが問題視され始めている。これ

は現状の CT 用センサーが不透明なセラミックスシンチレータとフォトダイオードのアレイを用いていることが一因となっている。

放射線を検出するには、放射線を光に換えるシンチレータ結晶と光を電気信号に換える光電子増倍管もしくはフォトダイオードが用いられる。光電子増倍管は 450nm 付近に、フォトダイオードは 600nm 付近に最大感度波長域を有するため、1895 年のレントゲンによる X 線の発見以来 100 年余に渡り、全てのシンチレータ結晶開発者（申請者も含む）は、中・長波長域に発光する結晶を開発することが一つの重要な必要条件であることを「常識」として研究を行ってきた。

最近実用化レベルに急成長した Nano Strip Gas Counter(NSGC)等の次世代ガスカウンタを用いると、現状、4nm 程度の分解能しか持っていない PET などの機能性情報が得られる医療画像装置において、100-200 μm の画期的な高分解能化が実現できる。この検出器の感度波長域は真空紫外域にある。そのため、シンチレータ結晶には、真空紫外域の発光を示す材料が必要とされる。

2. 研究の目的

本研究では、近年、急速に開発が進んでいる NanoStrip Gas Counter 等の次世代ガスカウンタを光電変換デバイスとして用いることを想定し、本研究では 200nm 以下の極短波長域に発光するシンチレータ結晶の開発を行うことを目的とした。これにより、「VUV シンチレータ+光電離ガス」とすることができ、より効率的なガスのイオン化が可能となる。その結果、次世代ガスカウンタの高い分解能特性という利点を活かしつつ、装置の高効率化・小型化という技術革新が期待できる。

200nm 以下の極短波長域に発光する新規 VUV シンチレータの開発を中心とし、その探索合成、発光メカニズム、クエンチメカニズムの理解、更には、高品質バルク単結晶および形状制御単結晶作製技術の確立までを研究開発対象とする。

3. 研究の方法

我々は独自開発の高速結晶作製法であり、レーザー結晶、非線形結晶、磁気光学結晶開発等実績を挙げているマイクロ引下げ (μ -PD)法を駆使し、独自物質設計法である Bond Valence Sum (BVS) 法と Dieke diagram を融合させたスクリーニングを行い、高速応答ハロゲン化物の開発を行った。

4. 研究成果

短時間で結晶を作製できるマイクロ引下げ法を用いて、多様な組成のフッ化物結晶を作製し、発光特性を評価した。

200 nm 以下の発光を実現するためには、

Pr^{3+} や Nd^{3+} などの 5d-4f 遷移を利用する必要がある。我々は、 $\text{Nd}:\text{LaF}_3$ において、高輝度かつ短寿命な真空紫外発光が得られることを見出した。発光スペクトル測定の結果、173nm における高輝度発光が確認され、透過率測定の結果からは発光ピークの 173nm において、78%もの高透過率を有することが分かった。

Czochralski 法を用いた結晶育成では、直径 2 インチもの大きさを持つ単結晶の作製にも成功した。さらに、シンクロトロン放射光を用いた測定により、短寿命発光であることも明らかとなり、真空紫外域発光シンチレータとしての可能性が示された。

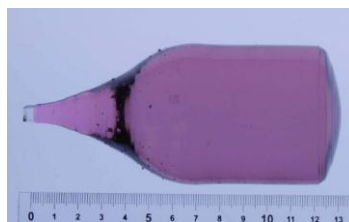


図 1. Cz 法で作製した $\text{Nd}:\text{LaF}_3$ 結晶

100 を超える探索合成した単結晶の中から、先の $\text{Nd}:\text{LaF}_3$ に加えて、 NdF_3 、 $\text{Nd}:\text{LuLiF}_4$ 、 $\text{Nd}:\text{K}_2\text{NaLuF}_6$ 、 $\text{Er}:\text{LiCAF}$ 、 $\text{Tm}:\text{LiCAF}$ 、 KMgF_3 において真空紫外の発光が確認された。中でも、 $\text{Nd}:\text{LuLiF}_4$ および $\text{Nd}:\text{K}_2\text{NaLuF}_6$ において強い発光が得られたので、これらに対して、Czochralski 法により高品質バルク単結晶育成技術の開発に取り組み、高品質 2 インチ単結晶の作製に成功した。

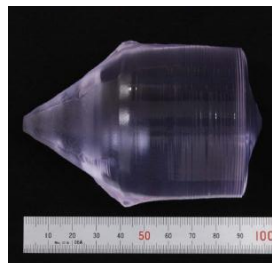


図 2. Cz 法で作製した $\text{Nd}:\text{LuLiF}_4$ 結晶

これらの強い発光を示すシンチレータ結晶とガスカウンタ (μ -PIC および GEM) とアSEMBルすることによる放射線 2 次元画像取得を試み、解像度 100 μm の画像取得に成功した。

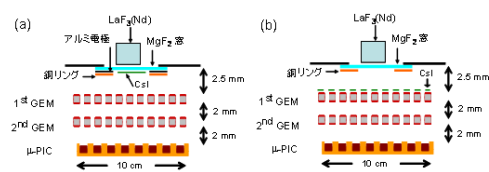


図 3. 新型放射線検出器の構造
(a)透過型、(b)反射型

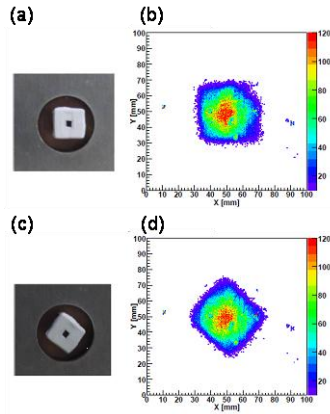


図4. LaF₃(Nd)結晶をMgF₂窓に置いたときの写真(a, c)、および、それぞれの場合の透過型GPMでのイメージング結果(b, d)

さらに、溶液成長法により融液成長が不可能とされてきたNd:LuF₃の大型単結晶の作製に取り組み成功した。このシンチレータ結晶は2,000 ph/MeVと他と比較して遥かに高い発光量を実現した。当初開発したNd:LaF₃結晶に比べて、新規材料であるNd:LuLiF₄およびNd:LuF₃結晶それぞれの検出効率は、同サイズのときに2.4倍および23倍と向上した。

Czochralski法、TSSG法によるNd:LuF₃結晶の大型化、高品質化に取り組み、達成した。真空紫外発光シンチレータをガス検出器と組み合わせてイメージング検出に成功した。

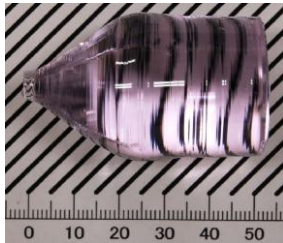


図5. Cz法で作製したNd:LuF₃結晶

今回の開発に取り組んだシンチレータ結晶は、材料中に酸素のコンタミネーションがあると真空紫外域で吸収が起こってしまい、真空紫外発光を効率良く得ることができない。そのため、合成炉の到達真空度を1桁向上させることも行った。

また、賦活剤の固溶限界に関する追跡も行った。固溶限界を超えると第2相として析出して来るため、結晶の概観が不透明となっている箇所を電子顕微鏡を用いて観察し、組成分析等を通じて、第2相の同定を行った。

極短波長域に発光するVUVシンチレータにおいても蛍光寿命と波長の関係を調べ、以下の式で表されることが明らかになった。

$$\Gamma = \frac{1}{\tau} \propto \frac{n}{\lambda_{em}^3} \left(\frac{n^2 + 2}{3} \right)^2 \sum_f |k_f \mu_i|^2$$

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計26件)

1. M. Ieda, T. Ishimaru, S. Ono, K. Yamanoi, M. Cadatal-Raduban, T. Shimizu, N. Sarukura, K. Fukuda, T. Suyama, Y. Yokota, T. Yanagida, and A. Yoshikawa, "Optical Characteristic Improvement of Neodymium-Doped Lanthanum Fluoride Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition for Vacuum Ultraviolet Application," Japanese Journal of Applied Physics, vol. 51, Feb 2012. (査読有り)
2. H. Tanaka, N. Kawaguchi, N. Abe, Y. Furuya, Y. Yokota, T. Yanagida, J. Pejchal, M. Nikl, Y. Kawazoe, and A. Yoshikawa, "Crystal growth and scintillation properties of Nd:CaF₂," Optical Materials, vol. 33, pp. 284-287, Jan 2011. (査読有り)
3. K. Fukuda, S. Ishizu, N. Kawaguchi, T. Suyama, T. Yanagida, Y. Yokota, M. Nikl, and A. Yoshikawa, "Crystal growth and optical properties of the Nd³⁺ doped LuF₃ single crystals," Optical Materials, vol. 33, pp. 1143-1146, Jun 2011. (査読有り)
4. K. Fukuda, N. Kawaguchi, S. Ishizu, T. Nagami, T. Suyama, T. Yanagida, Y. Yokota, M. Nikl, and A. Yoshikawa, "Crystal growth and scintillation characteristics of the Nd³⁺ doped LiLuF₄ single crystals," Optical Materials, vol. 33, pp. 924-927, Apr 2011. (査読有り)
5. Y. Furuya, H. Tanaka, K. Fukuda, N. Kawaguchi, Y. Yokota, T. Yanagida, V. Chani, M. Nikl, and A. Yoshikawa, "Crystal growth, Nd distribution and luminescence properties of (Na_{0.425+x}Lu_{0.575-x-y}Nd_y)F₂ single crystals," Journal of Crystal Growth, vol. 318, pp. 791-795, Mar 2011. (査読有り)
6. Y. Furuya, S. Wakahara, M. Sugiyama, H. Tanaka, K. Fukuda, N. Kawaguchi, Y. Yokota, T. Yanagida, and A. Yoshikawa, "Crystal growth and scintillation properties of (Na_xCa_{1-2x}Lu_{x-y}Nd_y)F₂ single crystals," Optical Materials, vol. 34, pp. 75-78, Nov 2011. (査読有り)
7. Y. Furuya, N. Kawaguchi, N. Abe, Y. Yokota, T. Yanagida, M. Nikl, and A. Yoshikawa, "Crystal growth and scintillation properties of NdF₃ single crystal," Optical Materials, vol. 32, pp. 878-881, Jul 2010. (査読有り)
8. N. Kawaguchi, T. Yanagida, Y. Futami, K. Fukuda, T. Suyama, Y. Yokota, A.

- Yoshikawa, and M. Nikl, "Nd concentration dependence on the optical and scintillation properties of Nd doped BaF₂," *Optical Materials*, vol. 32, pp. 1325-1328, Aug 2010. (査読有り)
9. J. Martincik, M. Nikl, S. Ishizu, K. Fukuda, T. Suyama, A. Beitlerova, K. Polak, V. Babin, and A. Yoshikawa, "VUV-UV-visible luminescence of Nd³⁺, Er³⁺ and Tm³⁺ in LiLuF₄ single crystal host," *Radiation Measurements*, vol. 45, pp. 403-405, Mar-Jul 2010. (査読有り)
 10. T. Nakazato, M. Cadatal-Raduban, K. Yamanoi, M. Tsuboi, Y. Furukawa, M. Pham, E. Estacio, T. Shimizu, N. Sarukura, K. Fukuda, T. Suyama, T. Yanagida, Y. Yokota, A. Yoshikawa, and F. Saito, "Nd³⁺:LaF₃ as a Step-Wise Excited Scintillator for Femtosecond Ultraviolet Pulses," *Ieee Transactions on Nuclear Science*, vol. 57, pp. 1208-1210, Jun 2010. (査読有り)
 11. J. Pejchal, M. Nikl, K. Fukuda, N. Kawaguchi, T. Yanagida, Y. Yokota, A. Yoshikawa, and V. Babin, "Doubly doped BaY₂F₈:Er,Nd VUV scintillator," *Radiation Measurements*, vol. 45, pp. 265-267, Mar-Jul 2010. (査読有り)
 12. J. Pejchal, M. Nikl, K. Fukuda, N. Kawaguchi, T. Yanagida, Y. Yokota, A. Yoshikawa, and V. Babin, "Luminescence Mechanism in Doubly Doped LaF₃:Er,Nd VUV Scintillator," *Ieee Transactions on Nuclear Science*, vol. 57, pp. 1196-1199, Jun 2010. (査読有り)
 13. A. Yoshikawa, T. Yanagida, Y. Yokota, A. Yamaji, Y. Fujimoto, J. Pejchal, V. I. Chani, N. Kawaguchi, S. Ishizu, K. Fukuda, T. Suyama, and M. Nikl, "Crystal growth and VUV luminescence properties of Er³⁺- and Tm³⁺-doped LiCaAlF₆ for detectors," *Optical Materials*, vol. 32, pp. 845-849, Jul 2010. (査読有り)
 14. N. Abe, Y. Yokota, Y. Yanagida, N. Kawaguchi, J. Pejchal, M. Nikl, K. Fukuda, and A. Yoshikawa, "Crystal Growth and Scintillation Properties of Tm, Nd Codoped LaF₃ Single Crystals," *Ieee Transactions on Nuclear Science*, vol. 57, pp. 1278-1281, Jun 2010. (査読有り)
 15. N. Abe, Y. Yokota, T. Yanagida, J. Pejchal, F. Nara, N. Kawaguchi, K. Fukuda, M. Nikl, and A. Yoshikawa, "Crystal Growth and Luminescence Properties of Tm:BaF₂ Single Crystals," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 49, 2010. (査読有り)
 16. N. Abe, Y. Yokota, T. Yanagida, N. Kawaguchi, J. Pejchal, and A. Yoshikawa, "Evaluation of Gamma-Ray Response of Tm:BaF₂ Single Crystals," *Ieee Transactions on Nuclear Science*, vol. 57, pp. 1304-1307, Jun 2010. (査読有り)
 17. N. Abe, Y. Yokota, T. Yanagida, N. Kawaguchi, K. Fukuda, J. Pejchal, M. Nikl, and A. Yoshikawa, "Crystal Growth and Characterization of Rare Earth Doped K₃LuF₆," *Ieee Transactions on Nuclear Science*, vol. 57, pp. 1320-1324, Jun 2010. (査読有り)
 18. N. Abe, T. Yanagida, Y. Yokota, S. Maeo, J. Pejchal, Y. Fujimoto, Y. Furuya, H. Tanaka, N. Kawaguchi, K. Fukuda, V. Chani, K. Kamada, M. Nikl, and A. Yoshikawa, "Crystal growth and scintillation properties of Tm:K₂NaLuF₆," *Optical Materials*, vol. 32, pp. 589-594, Mar 2010. (査読有り)
 19. H. Sekiya, C. Ida, H. Kubo, S. Kurosawa, T. Tanimori, A. Yoshikawa, T. Yanagida, Y. Yokota, K. Fukuda, S. Ishizu, N. Kawaguchi, and T. Suyama, "Developments of a large area VUV sensitive gas PMT with GEM/mu PIC," *Journal of Instrumentation*, vol. 4, Nov 2009. (査読有り)
 20. M. Cadatal, Y. Furukawa, S. Ono, M. Pham, E. Estacio, T. Nakazato, T. Shimizu, N. Sarukura, K. Fukuda, T. Suyama, A. Yoshikawa, and F. Saito, "Vacuum ultraviolet luminescence from a micro-pulling-down method grown Nd³⁺:(La-0.9,Ba-0.1)F₂," *Journal of Luminescence*, vol. 129, pp. 1629-1631, Dec 2009. (査読有り)
- [学会発表] (計 44 件)
1. 吉川彰, 横田有為, 柳田健之, 福田健太郎, 河口範明, 石津澄人, 須山敏尚
"Nd:LuF₃ の単結晶成長とその光学特性"
第 5 回日本フลักス成長研究発表会,
12/3, 長野, 信州大学(2010)
 2. 吉川彰、柳田健之、横田有為、福田健太郎、河口範明、須山敏尚、猿倉信彦
“真空紫外域に発光する新規発光結晶の開発”
レーザー研シンポジウム 2009, 2009 年 4 月 23 日~24 日、吹田、大阪大学
 3. A. Yoshikawa, T. Yanagida, Y. Yokota, N. Kawaguchi, S. Ishizu, K. Fukuda, J. Pejchal, V. Babin, M. Nikl
"Crystal growth and luminescent properties of Nd:BaY₂F₈ single crystal for VUV emitting scintillator"
7th International Conference on Luminescent Detectors and Transformers of Ionizing Radiation LUMDETR 2009

- Jul. 12-17, 2009, Krakow, Poland
4. 吉川彰
 “ポストCe:LiCAFを目指したCe系新紫外レーザー結晶の開発・シンチレータ結晶への展開”
 レーザー研シンポジウム 2008 2008年4月17日～18日、吹田、大阪大学
 5. A. Yoshikawa, M. Kimura, C. Kamada, T. Yanagida, Y. Yokota, F. Saito
 “Single Crystal Growth and Optical Properties of Pr-doped K(Y,Lu)3F10”
 Japanese-French Joint Workshop, First Workshop Tohoku University- EMAC-INSA
 Ecole des Mines, Albi & INSA, Toulouse,
 Dec. 1-2. 2008, Albi, France
 6. A. Yoshikawa, T. Yanagida, N. Andrey, K. J. Kim, N. Kawaguchi, K. Fukuda, T. Suyama, M. Nikl
 “Crystal growth, optical properties and neutron responses of Ce³⁺ single crystal”
 Oct. 19-25. 2008, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE NSS/MIC) 2008, Dresden, Germany
 7. A. Yoshikawa, A. Jouini, K. Kamada, G. Boulon, M. Nikl, F. Saito
 “Phase transition control, melt growth of (Gd,RE)F₃ single crystal and their luminescent properties
 The 15th International Conference on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (ICL’8)”, July 7-11, 2008, Lyon, France

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 17件)

1. 名称：フッ化物単結晶、真空紫外発光素子及びシンチレーター
 発明者：福田健太郎、石津澄人、河口範明、吉川彰、ヤンペジャール、柳田健之、横田有為
 権利者：トクヤマ、東北大学
 種類：特願
 番号：2010-276109
 出願年月日：2010年12月13日
 国内外の別：国内
2. 名称：フッ化物単結晶、真空紫外発光素子及びシンチレータ
 発明者：吉川彰、柳田健之、横田有為、福田健太郎、石津澄人、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2010-276109
 出願年月日：2010年12月10日

3. 国内外の別：国内
 名称：フッ化物結晶、放射線検出用シンチレーター及び放電線検出器
 発明者：吉川彰、柳田健之、藤本裕、福田健太郎、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2010-191462
 出願年月日：2010年8月27日
 国内外の別：国内
4. 名称：フッ化物単結晶、シンチレーター及びフッ化物単結晶の製造方法
 発明者：吉川彰、柳田健之、藤本裕、福田健太郎、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2010-207696
 出願年月日：2010年9月16日
 国内外の別：国内
5. 名称：真空紫外発光素子及びシンチレーター
 発明者：福田健太郎、石津澄人、河口範明、吉川彰、柳田健之、横田有為
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2010-059395
 出願年月日：2010.3.16
 国内外の別：国内
6. 名称：フッ化物結晶、真空紫外発光素子及び真空紫外発光シンチレーター
 発明者：吉川彰、柳田健之、横田有為、福田健太郎、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2010-047772
 出願年月日：2010.3.9
 国内外の別：国内
7. 名称：フッ化物結晶、真空紫外発光素子及び真空紫外発光シンチレーター
 発明者：吉川彰、柳田健之、横田有為、阿部直人、福田健太郎、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2009-294829
 出願年月日：2009.12.25
 国内外の別：国内
8. 名称：フッ化物結晶、真空紫外発光素子及び真空紫外発光シンチレーター
 発明者：吉川彰、柳田健之、横田有為、阿部直人、福田健太郎、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2009-294957
 出願年月日：2009.12.25
 国内外の別：国内

9. 名称：放射線画像検出器
 発明者：福田健太郎、石津澄人、河口範明、須山敏尚、吉川彰、柳田健之、横田有為、窪秀利、谷森達、関谷洋之
 権利者：トクヤマ、東北大学、京都大学、東京大学
 種類：特願
 番号：2009-207779
 出願年月日：2009.9.9
 国内外の別：国内
10. 名称：真空紫外発光デバイス
 発明者：小野晋吾、石津澄人、福田健太郎、河口範明、長見知史、須山敏尚、吉川彰、柳田健之、横田有為
 権利者：名古屋工業大学、東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2009-206052
 出願年月日：2009.9.7
 国内外の別：国内
11. 名称：真空紫外発光素子
 発明者：石津澄人、福田健太郎、河口範明、須山敏尚、吉川彰、柳田健之、横田有為
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2009-163343
 出願年月日：2009.7.10
 国内外の別：国内
12. 名称：金属フッ化物結晶及び真空紫外発光素子
 発明者：石津澄人、福田健太郎、河口範明、須山敏尚、吉川彰、柳田健之、横田有為、マーティン ニクル
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2009-163344
 出願年月日：2009.7.10
 国内外の別：国内
13. 名称：希土類含有 K3LuF6、真空紫外発光素子及び真空紫外発光シンチレーター
 発明者：吉川彰、柳田健之、横田有為、福田健太郎、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2009-136181
 出願年月日：2009.6.5
 国内外の別：国内
14. 名称：フッ化物結晶、真空紫外発光素子及び真空紫外発光シンチレーター
 発明者：吉川彰、柳田健之、横田有為、福田健太郎、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2009-136182
- 出願年月日：2009.6.5
 国内外の別：国内
15. 名称：真空紫外発光素子及び真空紫外発光シンチレーター
 発明者：吉川彰、柳田健之、横田有為、福田健太郎、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ
 種類：特願
 番号：2009-136180
 出願年月日：2009.6.5
 国内外の別：国内
16. 名称：中性子用シンチレーター
 発明者：吉川彰、柳田健之、福田健太郎、石津澄人、河口範明、須山敏尚
 権利者：東北大学、トクヤマ(株)
 種類：特願
 番号：2008-075323
 出願年月日：2008年3月24日
 国内外の別：国内
- 取得状況（計 2件）
1. 名称：フッ化物結晶及び真空紫外発光素子
 発明者：吉川彰、志村 玲子、福田 健太郎、石津 澄人、須山 敏尚
 権利者：トクヤマ、東北大学
 種類：特許登録
 番号：第 4785198 号
 取得年月日：2011年7月22日
 国内外の別：国内
2. 名称：放射線検出装置及び放射線の検出方法
 発明者：高橋 浩之、吉川彰、志村 玲子、福田 健太郎、須山 敏尚
 権利者：トクヤマ、東京大学、東北大学
 種類：特許登録
 番号：第 4685042 号
 取得年月日：2011年1月12日
 国内外の別：国内
- 〔その他〕
 ホームページ等
<http://yoshikawa-lab.imr.tohoku.ac.jp/>
6. 研究組織
 (1)研究代表者
 吉川 彰 (Yoshikawa Akira)
 東北大学・金属材料研究所・教授
 研究者番号：50292264