Ce³⁺:LuLiF₄の高速シンチレーター としての特性評価

中里 智治¹、古川 裕介¹、Marilou Cadatal²、Minh Pham²、 巽 俊博1、斉木 あゆみ1、有川 安信1、猿倉 信彦1-2、 西村 博明¹、疇地 宏¹、三間 圀興¹、 福田 承生³、保坂 将人⁴、加藤 政博⁴、小杉 信博⁴

> 1:大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 2:総合研究大学院大学 3:東北大学 多元物質科学研究所 4:分子科学研究所 UVSOR



(密度X時間)積を高める2つの方^쪭 式

磁場閉じこめ核融合



慣性閉じこめ(レーザー)核融合



固体密度の1000倍 直径5mm(初期) パルス炉 <mark>阪大</mark>

科学研究のゴール=1パルスの実証



大型レーザー装置 激光XII号



増幅器列

12 beams, 30 kJ (ω), 様々なパルス波形が可能

ターゲットチェンバー 正12面体照射配置(ω, 2ω)

ターゲットチェンバー II(HIPER) 一方向から12ビーム照射(ω, 2ω, 3ω)





球対称照射,対向照射実験に適

照射一様性が重要な平板実験向に適

レーザー核融合の2つの点火方式

高速点火は小さなレーザーエネルギーで大きな核融合利得が得られる

レーザー核融合では燃料の高密度圧縮と点火温度への加熱が重要な過程

中心点火(従来方式)

燃料ペレットに多数の強力なレーザーを照射して、表面に発生 するプラズマの圧力で超高密度に圧縮(爆縮)、中心に出来る 高温プラズマで核融合反応を点火、燃焼させる.



高速点火(新方式)

圧縮された燃料に、超高強度レーザーを照射して点火、燃焼させる. 中心点火よりも小さなレーザーで高い核融合利得が得られる.





高速点火では小さなレーザ-

で炉が構成できる

原理

背景

高速点火方式によるレーザー核融合の実現に向けて 核融合反応の様子を分析する上で、高温・高圧縮の 燃料面密度 pR は非常に重要なパラメーター。



核融合反応で生成される中性子の エネルギー、個数は爆縮プラズマ中 の状況を反映する。 つまり、中性子を観測することはpR を知るカギといえる。

散乱中性子観測は高速点火方式 によるレーザー核融合で重要な役 割を果たす。[1]

[1]R. Kodama et al., Nature, 432 (2004) 1005



✓ターゲット以外(真空チェンバー、その他の実験装置、検出器等)で散乱された中性子がバックグラウンドとして影響を与える

✓シンチレーターの発光寿命が長いと、DD反応で生成される中 性子検出と散乱中性子検出の区別ができない。

✓ 散乱中性子のエネルギー領域は低く広がっているため、検出 される信号も弱く広がってしまう。

中性子線に対して十分高速な応答時間を持ち、かつガ ンマ線に対して十分なコントラストがある材料は現在も 探索中。

[2]N. Izumi et al., Rev. Sci. Intst.rum, 74 (2003) 1722



新規シンチレーター材料候補の探索



高い量子効率をもつレーザー作用に活性なイオンを含み、 高速中性子に対して大きな断面積をもつLiが多い化合物 は良いシンチレーターになりうるのでは?

Ce³⁺:LuLiF₄に注目

[3] F. Knol, 放射線計測ハンドブック (2001) 日刊工業新聞社

 $Ce^{3+}:LuLiF_{A}$

Ce³⁺:LuLiF₄の特徴 ✓紫外固体レーザーの活性媒体 (Ce³⁺の5d-4f遷移)^[4,5] ✓200、240、290 nm付近に吸収帯 ✓Liを含む化合物

Ce³⁺:LuLiF₄のと中性子との反応過程 ⁶Li(n,α)反応



2次電子により励起されたCe³⁺が発光

Ce³⁺:LuLiF₄は高速中性子線シンチレー ター候補として有力

[4] N. Sarukura *et al.*, *J. Selected Topics in Quantum Electronics*, **1** (1995) 792
[5] N. Sarukura *et al.*, *Appl. Opt.* 37 (1998) 6446



本研究の目的 <u>Ce³⁺:LuLiF₄のシンチレーター材料としての予備評価</u> 分子科学研究所 UVSORのStrage Ring Free-Electron Lasers (SRFEL) を 励 起 源 に 、 Ce³⁺:LuLiF₄ の 時 間 分 解 Photoluminescence(PL)スペクトル測定を行い、発光波長、発光 寿命を調べる

さらに、、、 分光学の手法が新規光学材料の開発においてその指針を与える ことを示すとともに、放射光、FELの今後の発展の方向性を探る 上で一つの道標となるという点でも意義のある研究である。



なぜ、SRFEL @ UVSORで実験を?

シンチレーターの開発において、様々なエネルギーの中性子や光 子における応答時間といったシンチレーター特性を調べる必要が ある。[6]



中性子を励起源とした実験は容易ではない。 そこで、シンチレーター特性の予備評価としてまず、光子を 励起源に実験を行う。

励起源として求められる要件は?

✔波長可変である。

✓発光寿命が観測可能なくらい十分短いパルス幅を持つ。

✓発光寿命に対して適切な繰り返し周波数であること。

[6] M. Tanaka et al., in press



SRFEL@UVSORの特徴 ✓波長可変。深紫外領域の波長の光を出力可能。 ✓ 短いパルス幅(14.7 ps) ✓数十nsの発光寿命に対して適切な繰り返し 周波数(11.3 MHz) 自由電子レーザー発共調査 励起源として最適 レフティカルクライストロン 1.2 10 50 Ce³⁺:LuLiF₄ RMS = 14.7 psec 1 105 40 **Fransmisson** (%) 8 10⁴ 30 count 6 104 20 4 10⁴ 216 243 29010 $2 \, 10^4$ 0 200 250 300 200 250 300 350 400 100 150 350 Wavelength (nm)







時間分解発光スペクトル(ストリークカメラ像)



SRFEL励起による固体試料の 時間分解発光スペクトル測定に成功!!!

SRFELはシンチレーター特性評価に有力なツール

Ce³⁺:LuLiF₄の発光寿命



励起波長により発光寿命 が異なる。



異なる吸収バンドへ励起している。 高速点火方式によるレー ザー核融合における診断 デバイス用シンチレーター として十分有用な減衰時間 ✔SRFEL励起による固体試料の時間分解発光スペクトル測定 に成功した。

✓発光寿命の差から、Ce³⁺:LuLiF₄は励起波長により異なる吸収バンドへ励起される。

✓発光波長および発光寿命から、Ce³⁺:LuLiF₄は、高速点火方式によるレーザー核融合における診断デバイスシンチレーターとして有力な材料候補であるといえる。

✓ 今後は、中性子線を励起源にCe³⁺:LuLiF₄のシンチレーター特 性を調べる予定である。

✓ SRFELがシンチレーターの材料探索において有効なツールで あることが示された。

"直接遷移"発光の確認 # 放射光励起での発光観測

Ce:LiCAF結晶の励起スペクトルと透過スペクトル



"Observation of new excitation channel of cerium ion through highly vacuum ultraviolet transparent LiCAF host crystal, " T. Kozeki, Y. Suzuki, M. Sakai, H. Ohtake, N. Sarukura, Z. Liu, K. Shimamura, K. Nakano, and T. Fukuda, J. Cryst. Growth, vol. 229, pp. 501-(2001).

"Optical Property of Ce3+-ion -doped LiCaAIF6 Crystal in Vacuum Ultraviolet Region"

"直接遷移"発光の確認 # 電子ビーム励起での発光確認 電子線励起で、フッ化物を励起 電流注入励起への第一歩

Hybrid time-resolved spectroscopic system for evaluating laser material using a table-top-sized, low-jitter, 3-MeV picosecond electron-beam source with a photocathode

APL 80, 3280

Yuji Suzuki,^{a),b)} Toshimasa Kozeki,^{b)} Shingo Ono, Hidetoshi Murakami, Hideyuki Ohtake,^{b)} and Nobuhiko Sarukurab) Institute for Molecular Science (IMS), Myodaiji, Okazaki 444-8585, Japan

Terunobu Nakajyo, Fumio Sakai, and Yasushi Aoki Research and Development Center, Sumitomo Heavy Industries, Limited, 2-1-1 Yato-Cho, Nishitokyo-City, Tokyo 188-8585, Japan

(Received 12 March 2001; accepted for publication 18 March 2002)

Hybrid time-resolved spectroscopy of laser media comparing electron-beam excitation and optically excited cases is performed using a newly developed, table-top-sized, low-jitter, 3-MeV picosecond electron-beam source with a photocathode. The properties of an electron-beam-pumped Ce³⁺:LiCaAlF₆ (Ce:LiCAF) ultraviolet laser medium significant differ from those of an optically pumped medium. © 2002 American Institute of Physics. [DOI: 10.1063/1.1476384]

電子線励起で、フッ化物を励起 この実験を新物質で行いたい







水熱合成法成長ZnOの単結晶





水熱合成法成長ZnO結晶

E. Ohshima, et.al. J. Crystal Growth 260 (2004) 166

ZnO結晶の時間分解発光スペクトル APL2007, DEC



Ce³⁺:LuLiF₄のPLスペクトル



発光が観測された波長領 域で高い透過率を示して いる。



生じた発光に対する透明 度が高く、シンチレーター として有用。

※Ti:sapphire励起によるPLスペクトルの波長は未校正

This work was in part performed by auspice of MEXT Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology project on "Development of Growth Method of Semiconductor Crystals for Next Generation Solid-StateLighting" and "Mono-energetic quantum beam science with PW lasers" and Scientific Research Grant-in Aid (17656027) from the MEXT. The results were achieved under the joint research project of the Institute of Laser Engineering at Osaka University, Extreme Photonics project from the Institute for Molecular Science.



fin



散乱中性子のエネルギー分布(シミュレーション値)[2]

