



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

Ετήσια έκθεση προόδου PhD

Δημητρακόπουλος Αναστάσιος, Οκτώβριος 2025

Τίτλος: **Μελέτη χαρακτηριστικών απόδοσης κρυσταλλικού σπινθηριστή GAGG:Ce για χρήση σε συστήματα απεικόνισης ιοντιζουσών ακτινοβολιών (αρ, απόφασης 15/13-06-2024)**

Επιβλέπων Καθηγητής: Νεκτάριος Καλύβας

Συμβουλευτική Επιτροπή: Νεκτάριος Καλύβας, Ιωάννης Βαλαής, Χρήστος Μιχαήλ

Αρχικοί ερευνητικοί στόχοι:

- Η πειραματική και θεωρητική μελέτη χαρακτηριστικών απόδοσης του κρυσταλλικού σπινθηριστή GAGG:Ce ($\text{Gd}_2\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$) όταν διεγείρεται από ιοντίζουσα ακτινοβολία για εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης. Ανάδειξη απεικονιστικών διατάξεων βασισμένων στον εν λόγω κρυσταλλικό σπινθηριστή με μέγιστη δυνατή απόδοση και την ελάχιστη δόση ακτινοβολίας.
- Μελέτη εγγενών ιδιοτήτων απόδοσης του σπινθηριστή όπως κβαντική ανιχνευτική αποδοτικότητα (QDE), απόδοση ενεργειακής απορρόφησης (EAE), απόλυτη απόδοση φωταύγειας (AE), ανιχνευτική κβαντική απόδοση (DQE) και εν συνεχεία αξιολόγηση τους. Εξέταση της φασματικής σύζευξης (SMF) του GAGG:Ce με διαφόρους φωτοανιχνευτές και της συνολικής απόδοσης φωταύγειας (Effective Efficiency) της διάταξης αυτών.
- Αξιολόγηση χαρακτηριστικών απόδοσης για ανάδειξη παραμέτρων όπως βέλτιστο πάχος σπινθηριστή ανάλογου της ενέργειας της ακτινοβολίας με χρήση θεωρητικού μοντέλου ώστε να χαρακτηριστεί το ποσοστό του διερχόμενου φωτός μέσα στον κρύσταλλο, από την απορρόφηση του ως ιοντίζουσα ακτινοβολία έως την μετατροπή και εν τέλη διάδοση των παραγόμενων οπτικών φωτονίων.

Αναφορά προόδου για το έτος 2025:

Εν συνεχεία της προηγούμενης αναφοράς προόδου με τα δεδομένα που ελήφθησαν από την πειραματική διάταξη στο εργαστήριο Ακτινοφυσικής, Τεχνολογίας Υλικών και Βιοϊατρικής

Απεικόνισης (ΑΚΤΥΒΑ) του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής υπολογίστηκε η απόλυτη απόδοση φωταύγειας, absolute luminescence efficiency (AE) [1] για κρύσταλλο $\text{Gd}_2\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}:\text{Ce}$ (GAGG:Ce). Η μέγιστη τιμή ήταν τα 26.3 efficiency units (E.U.) στα 150 kVp όπου $1 \text{ E.U.} = 1 \mu\text{W}\cdot\text{m}^{-2}/(\text{mR}\cdot\text{s}^{-1})$. Για να προσδιοριστεί η συνολική απόδοση του εν λόγω κρυστάλλου όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με φωτοανιχνευτή υπολογίστηκε η ενεργή αποδοτικότητα, effective efficiency (EE), που ορίζεται ως η απόλυτη απόδοση φωταύγειας (AE) πολλαπλασιασμένη με την φασματική συμβατότητα του φωτοανιχνευτή [1]. Υπολογίστηκε επίσης η κβαντική αποδοτικότητα ανίχνευσης, detective quantum efficiency (DQE(0)) [1] για μηδενική συχνότητα, για να προσδιοριστεί η αποδοτικότητα του συστήματος να μεταφέρει τα κβάντα που προσπίπτουν στον ανιχνευτή. Επίσης, αξιολογήθηκε η φασματική συμβατότητα spectral matching factor (SMF), που εκφράζει την συμβατότητα μεταξύ της φασματικής απόκρισης ενός φωτοανιχνευτή και του φάσματος του εκπεμπόμενου φωτός από τον σπινθηριστή [2] του GAGG:Ce με σύγχρονους ανιχνευτές όπου παρουσίασε μεγάλη συμβατότητα με συμπληρωματικούς ημιαγωγούς οξειδίου μετάλλου, complementary metal–oxide–semiconductors (CMOS) με τιμές SMF έως 0.95 και διατάξεις συζευγμένου φορτίου, charge-coupled-devices (CCD) αντίστοιχα με τιμές SMF έως 0.99. Ο σπινθηριστής απεδείχθη αποτελεσματικός ως ανιχνευτής ακτινοβολίας κυρίως σε τάσεις από 100 – 150 kVp.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας δημοσιεύτηκαν στο περιοδικό “Crystals” του εκδοτικού οίκου MDPI στις 23 Ιουνίου 2025 [3].

Στη συνέχεια έγινε εκτενής έρευνα και συγκεντρώθηκαν δεδομένα κβαντικής απόδοσης, quantum efficiency (QE) [4–6] διαφόρων σύγχρονων και διαθέσιμων στο εμπόριο φωτοανιχνευτών όπως CCD, CMOS, Photodiodes, Photocathodes, pin-diodes, PMT μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης και των datasheets των κατασκευαστριών εταιριών. Ο παράγοντας αυτός εκφράζει την ικανότητα των ανιχνευτικών αυτών διατάξεων να μετατρέψουν τα προσπίπτοντα φωτόνια σε ηλεκτρικό σήμα. Έπειτα υπολογίστηκε για κάθε έναν ο παράγοντας φασματικής συμβατότητας, Spectral Matching Factor (SMF) [2,7–10]. Ο υπολογισμός του SMF θα βοηθήσει στην αξιολόγηση της δυνατότητας σύζευξης του GAGG:Ce με σύγχρονους φωτοανιχνευτές [11–15] με σκοπό την επιλογή της καταλληλότερης ανιχνευτικής διάταξης για τον κρυσταλλικό σπινθηριστή GAGG:Ce αλλά και την μελέτη της συμπεριφοράς του σε συνδυασμό με διάφορους οπτικούς ανιχνευτές.

Δημοσιεύσεις σε επιστημονικό περιοδικό:

Δημοσίευση στο επιστημονικό περιοδικό: «Crystals», Impact factor 2.4 (2024).

Dimitrakopoulos, A.; Michail, C.; Valais, I.; Fountos, G.; Kandarakis, I.; Kalyvas, N. Experimental Evaluation of GAGG:Ce Crystalline Scintillator Properties Under X-Ray Radiation. *Crystals* **2025**, *15*, 590, doi:10.3390/cryst15070590.

Βιβλιογραφία

1. Tseremoglou, S.; Michail, C.; Valais, I.; Ninos, K.; Bakas, A.; Kandarakis, I.; Fountos, G.; Kalyvas, N. Evaluation of Cerium-Doped Lanthanum Bromide (LaBr₃:Ce) Single-Crystal Scintillator's Luminescence Properties under X-Ray Radiographic Conditions. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 419, doi:10.3390/app13010419.
2. Michail, C.; Koukou, V.; Martini, N.; Saatsakis, G.; Kalyvas, N.; Bakas, A.; Kandarakis, I.; Fountos, G.; Panayiotakis, G.; Valais, I. Luminescence Efficiency of Cadmium Tungstate (CdWO₄) Single Crystal for Medical Imaging Applications. *Crystals* **2020**, *10*, 429, doi:10.3390/cryst10060429.
3. Dimitrakopoulos, A.; Michail, C.; Valais, I.; Fountos, G.; Kandarakis, I.; Kalyvas, N. Experimental Evaluation of GAGG:Ce Crystalline Scintillator Properties Under X-Ray Radiation. *Crystals* **2025**, *15*, 590, doi:10.3390/cryst15070590.
4. de Haas, J.T.M.; Dorenbos, P.; van Eijk, C.W.E. Measuring the Absolute Light Yield of Scintillators. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* **2005**, *537*, 97–100, doi:10.1016/j.nima.2004.07.243.
5. Lempicki, A.; Wojtowicz, A.J.; Berman, E. Fundamental Limits of Scintillator Performance. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* **1993**, *333*, 304–311, doi:10.1016/0168-9002(93)91170-R.
6. Yamamoto, S.; Watabe, H.; Kato, K.; Hatazawa, J. Performance Comparison of High Quantum Efficiency and Normal Quantum Efficiency Photomultiplier Tubes and Position Sensitive Photomultiplier Tubes for High Resolution PET and SPECT Detectors. *Medical Physics* **2012**, *39*, 6900–6907, doi:10.1118/1.4760991.
7. Eberhardt, E.H. Source–Detector Spectral Matching Factors. *Appl. Opt., AO* **1968**, *7*, 2037–2047, doi:10.1364/AO.7.002037.
8. Giakoumakis, G.E. Matching Factors for Various Light-Source—Photodetector Combinations. *Appl. Phys. A* **1991**, *52*, 7–9, doi:10.1007/BF00323677.
9. Panayiotakis, G.; Cavouras, D.; Kandarakis, I.; Nomicos, C. A Study of X-Ray Luminescence and Spectral Compatibility of Europium-Activated Yttrium-Vanadate (YVO₄: Eu) Screens for Medical Imaging Applications. *Appl. Phys. A* **1996**, *62*, 483–486, doi:10.1007/BF01567121.
10. Yu, C.; Chang, B.; Wei, D. Spectral Matching Consideration in the Design of a Novel X-Ray Image Intensifier. *Rev. Sci. Instrum.* **2006**, *77*, 123102, doi:10.1063/1.2400022.
11. Valais, I.G.; David, S.; Michail, C.; Nomicos, C.D.; Panayiotakis, G.S.; Kandarakis, I.S. Comparative Evaluation of Single Crystal Scintillators under X-Ray Imaging Conditions. *J. Inst.* **2009**, *4*, P06013, doi:10.1088/1748-0221/4/06/P06013.
12. Li, W.; Chang, B. Spectral Matching Factors between GaAs and Multialkali Photocathodes and Reflective Radiation of Objects. *OE* **2001**, *40*, 674–678, doi:10.1117/1.1355957.
13. Liu, L.; Chang, B. Spectral Matching Factors between Super S₂₅ and New S₂₅ Photo Cathodes and Reflective Radiation of Objects. *Appl. Opt., AO* **2004**, *43*, 616–619, doi:10.1364/AO.43.000616.
14. Liu, L.; Wang, X.; Chen, J. Spectral Matching Technology of a Low-Light-Level Night-Vision System with a Laser Illuminator. *Appl. Opt., AO* **2010**, *49*, 286–291, doi:10.1364/AO.49.000286.
15. David, S.; Michail, C.; Panayiotakis, G.; Valais, I.; Fountos, G.; Nomicos, C.; Kandarakis, I. Evaluation of the Co-Doped LSO:Ce,Ca Scintillator Crystal in the X-Ray Energy Range from 50 to 140kVp for Medical Imaging Applications. In Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques; July 2010; pp. 253–255.

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής
Νεκτάριος Καλύβας
Καθηγητής

Ιωάννης Βαλαής
Καθηγητής

Χρήστος Μιχαήλ
Αναπληρωτής Καθηγητής