



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ UNIVERSITY OF WEST ATTICA

Σχόλια στην τρίτη ετήσια έκθεση προόδου του υποψήφιου διδάκτορα Σταύρου Τσερέμογλου, σύμφωνα με το ΦΕΚ Β' 4854/31-10-2018, παράγραφος 2

Τίτλος: Μελέτη και βελτιστοποίηση παραμέτρων απόδοσης φωταύγειας κρυσταλλικών σπινθηριστών, για χρήση σε ανιχνευτικές διατάξεις ιοντίζουσών ακτινοβολιών υβριδικών συστημάτων ιατρικής απεικόνισης (αρ. απόφασης 1/22-1-2021)

Επιβλέπων Καθηγητής: Νεκτάριος Καλύβας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Σχόλια

Κατά την σχετική χρονική περίοδο μελετήθηκε ο κρυσταλλικός σπινθηριστής υλικό $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$. Οι πειραματικές μετρήσεις με τις οποίες υπολογίστηκε η απόδοση του $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ έγιναν στους χώρους του εργαστηρίου Ακτινοφυσικής, Τεχνολογίας Υλικών και Βιοϊατρικής Απεικόνισης (ΑΚΤΥΒΑ) [1] και συγκεκριμένα με τη λυχνία ακτίνων-Χ CPI, series CMP 200DR 50KW, που είναι εγκατεστημένη στον εργαστηριακό χώρο Εφαρμοσμένης Ακτινοφυσικής. Αναφορικά με τη διέγερση με ακτινοβολία-Χ, τα δημοσιευμένα αποτελέσματα στο Διεθνές επιστημονικό περιοδικό Applied Sciences [2] ανέδειξαν το γεγονός ότι η χρήση του κρυστάλλου $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ μπορεί να οδηγήσει σε ισοδύναμο αποτέλεσμα από πλευράς σήματος με άλλους κρυστάλλους που χρησιμοποιούνται σε υβριδικά απεικονιστικά συστήματα SPECT/CT και PET/CT με σημαντική μείωση της προσπίπτουσας ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Επιπλέον μελετήθηκε, μέσω θεωρητικού μοντέλου που λαμβάνει υπόψη τις φυσικές διεργασίες της απορρόφησης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας, καθώς και τη παραγωγή και διάδοση των οπτικών φωτονίων στο κρύσταλλο, το βέλτιστο πάχος των κρυστάλλων $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ και $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ για συνθήκες έκθεσης 50 kVp [3,4]. Το υπολογισθέν βέλτιστο πάχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη κατασκευή κρυστάλλων με τη μέγιστη απόδοση για ακτινοβολία με φάσμα 50 kVp. Τα ανωτέρω αποτελέσματα οδηγούν στην βελτιστοποίηση της έκθεσης και κρίνονται σημαντικά από άποψη ακτινοπροστασίας και ακτινοφυσικής.

Πέρα των ερευνητικών δραστηριοτήτων που άπτονται άμεσα στη διδακτορική του διατριβή, ο κ. Τσερέμογλου συνεργάστηκε και με άλλους επιστήμονες της ερευνητικής ομάδας για τη μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας σε σπινθηριστές [5].

Αναφορές

1. Εργαστήριο Ακτινοφυσικής Τεχνολογίας Υλικών και Βιοιατρικής Απεικόνισης
<https://aktyva.uniwa.gr/>
2. Stavros Tseremoglou, Christos Michail, Ioannis Valais, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Ioannis Kandarakis, George Fountos and Nektarios Kalyvas. "Evaluation of Cerium-Doped Lanthanum Bromide (LaBr₃:Ce) Single-Crystal Scintillator's Luminescence Properties under X-ray Radiographic Conditions". Applied Sciences 2023, 13(1), 419.
<https://doi.org/10.3390/app13010419>
3. Stavros Tseremoglou, Dionysios Linardatos, Ioannis Valais, Christos Michail, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Ioannis Kandarakis, George Fountos and Nektarios Kalyvas. **Poster (RAP 2023):** "LaCl₃:Ce crystalline scintillator thickness optimization for low radiographic X-ray tube voltages: A theoretical study".
4. Stavros Tseremoglou, Dionysios Linardatos, Ioannis Valais, Christos Michail, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Ioannis Kandarakis, George Fountos and Nektarios Kalyvas. **Oral presentation (ABSET 2023):** "A theoretical study of LaBr₃:Ce crystalline scintillator thickness effect in Absolute Efficiency for radiographic X-ray tube voltage of 50 kVp"
5. Dionysios Linardatos, Vasileios Ntoupis, Stavros Tseremoglou, Ioannis Valais, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Eleftherios Lavdas, Ioannis Kandarakis, Nektarios Kalyvas, George Fountos and Christos Michail: "Light output dependence of CeBr₃ hygroscopic scintillator upon temperature". Procedia Struct. Integr. 2023, 47, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.06.043>

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Νεκτάριος Καλύβας
Αναπληρωτής Καθηγητής (ΕΚ)

Ιωάννης Βαλαής
Καθηγητής

Χρήστος Μιχαήλ
Επίκουρος Καθηγητής

Ετήσια έκθεση προόδου PhD

Τσερέμογλου Σταύρος, Σεπτέμβριος 2023

Τίτλος: **Μελέτη και βελτιστοποίηση παραμέτρων απόδοσης φωταύγειας κρυσταλλικών σπινθηριστών, για χρήση σε ανιχνευτικές διατάξεις ιοντίζουσών ακτινοβολιών υβριδικών συστημάτων ιατρικής απεικόνισης** (αρ. απόφασης 1/22-1-2021)

Επιβλέπων Καθηγητής: Νεκτάριος Καλύβας

Συμβουλευτική Επιτροπή: Νεκτάριος Καλύβας, Ιωάννης Βαλαής, Χρήστος Μιχαήλ

Αρχικοί ερευνητικοί στόχοι

- Η πειραματική και θεωρητική μελέτη της απόδοσης φωταύγειας αλογονούχων μονοκρυσταλλικών σπινθηριστών $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ και $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ κάτω από την επίδραση ιοντίζουσών ακτινοβολιών. Ο προσδιορισμός της δυνατότητας χρήσης των σπινθηριστών σε απλά συστήματα ακτίνων-Χ και υβριδικά SPECT/CT και PET/CT. Επιπλέον θα προσδιοριστούν οι συνθήκες, που μεγιστοποιούν την απόδοση και οδηγούν σε μείωση της δόσης ακτινοβολίας στον εξεταζόμενο.
- Αξιολόγηση της αποδοτικότητας των κρυστάλλων μέσω προσδιορισμού παραμέτρων όπως: κβαντική ανιχνευτική απόδοση (QDE), απόδοση ενεργειακής απορρόφησης (EAE), απόλυτη απόδοση φωταύγειας (AE) καθώς και η ανιχνευτική κβαντική απόδοση του σπινθηριστή (DQE). Έλεγχος της συμβατότητας του εξερχομένου φάσματος από τους κρυστάλλους με διάφορους οπτικούς ανιχνευτές, μέσω του παράγοντα φασματικής σύζευξης (SMF), καθώς και της συνολικής απόδοσης φωταύγειας του συστήματος σπινθηριστής-οπτικός ανιχνευτής (Effective Efficiency).
- Επιπλέον ένα θεωρητικό μοντέλο που περιγράφει τη απορρόφηση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και τη διάδοση των παραγόμενων οπτικών φωτονίων θα προσαρμοσθεί στους υπό μελέτη κρυστάλλους και θα χρησιμοποιηθεί. Με αυτό το τρόπο θα μελετηθεί το ποσοστό διερχόμενου φωτός μέσα στο υλικό. Η χρήση του μοντέλου μπορεί να προτείνει βέλτιστες παραμέτρους απόδοσης του σπινθηριστή, όπως βέλτιστο πάχος για διαφορετικές ενέργειες ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Αναφορά προόδου για το έτος 2023

Σε συνέχεια της προηγούμενης έκθεσης προόδου έγινε η υποβολή, αναθεώρηση μετά από κρίση και τελικά δημοσίευση, των αποτελεσμάτων υπό τη μορφή ερευνητικής δημοσίευσης για τον κρύσταλλο $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ στο επιστημονικό περιοδικό "Applied Sciences", με τίτλο "Evaluation of Cerium-Doped Lanthanum Bromide ($\text{LaBr}_3:\text{Ce}$) Single-Crystal Scintillator's Luminescence Properties under X-ray Radiographic Conditions" [1].

Μελετήθηκε η οπτική απόδοση των κρυσταλλικών σπινθηριστών $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ και $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ με βάση τον προσδιορισμό του βέλτιστου πάχους των προαναφερόμενων κρυστάλλων, ειδικότερα για εφαρμογές στην πυρηνική ιατρική απεικόνιση. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόστηκε ένα θεωρητικό μοντέλο [2-7] για την εκτίμηση της οπτικής απόδοσης των δύο μονοκρυσταλλικών ανιχνευτών σε όρους Οπτικής Απολαβής Ανιχνευτή (DOG), δηλαδή του αριθμού των εκπεμπόμενων οπτικών φωτονίων ανά εισερχόμενα φωτόνια X ή γ [8]. Το μοντέλο περιγράφει την αποδοτικότητα συλλογής φωτός ενός σπινθηριστή ως συνάρτηση του πάχους και της ενέργειας του εισερχόμενου φωτονίου X ή γ . Το θεωρητικό μοντέλο επαληθεύτηκε με βάση τις πειραματικές τιμές της Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας (AE) των δύο κρυστάλλων, δηλαδή το λόγο της ενέργειας που εκπέμπεται από τον κρύσταλλο προς το ρυθμό της εκθεσης σε ακτίνες X [9]. Αυτά τα πειραματικά δεδομένα αποκτήθηκαν από δείγματα κρυστάλλων με πάχος 10 χιλιοστά, σε κλινικά χρησιμοποιούμενες τάσεις παραγωγής ακτίνων X (110 kVp - 140 kVp) [1,10]. Με την προσαρμογή του θεωρητικού μοντέλου σε αυτά τα πειραματικά δεδομένα, καθορίστηκε η πιθανότητα διάδοσης k ανά στοιχειώδες πάχος 5μm. Οι προβλέψεις του μοντέλου για τις αναμενόμενες τιμές του AE συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες πειραματικές και υπολογίστηκε η απόκλισή τους από αυτές. Με την προκύπτουσα τιμή του k , υπολογίστηκε θεωρητικά η Οπτική Απολαβή Ανιχνευτή (DOG) για πάχη κρυστάλλου από 0,005 cm έως 2 cm στο εύρος ενεργειών της πυρηνικής ιατρικής απεικόνισης, με σκοπό τον προσδιορισμό του βέλτιστου πάχους των δύο σπινθηριστών σε αυτό το εύρος ενέργειας.

Επίσης, μελετήθηκε η εξάρτηση της Απόλυτης Απόδοσης Φωταύγειας (AE) του κρυσταλλικού σπινθηριστή $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η μελέτη έγινε στο εύρος θερμοκρασιών 29°-162° και πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής, με χρήση της ιατρικής λυχνίας ακτίνων- X CPI, series CMP 200DR 50KW. Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης ανακοινώθηκαν με τη μορφή προφορικής παρουσίασης στο 27th International Conference on Fracture and Structural Integrity το οποίο διεξήχθη στην Ρώμη στις 21-24 Φεβρουαρίου του 2023, και επιπρόσθετα δημοσιεύθηκαν σε ειδικό τεύχος του περιοδικού Procedia Structural Integrity, τόμος 47, σελίδες 119-124, με τίτλο "Temperature Dependence of the Luminescence Output of $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ Single Crystal Scintillator" [11].

Επιπλέον, στις 31 Μαρτίου του 2023 πραγματοποίησα στο τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής ομιλία βασισμένη στην ερευνητική μου εργασία με τίτλο "Ο κρυσταλλικός σπινθηριστής $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ και η χρήση του σε συστήματα υβριδικής απεικόνισης", την οποία παρακολούθησαν μέλη ΔΕΠ και φοιτητές του τμήματος.

Τέλος, με βάση το προαναφερθέν θεωρητικό μοντέλο, πραγματοποιήθηκε θεωρητική μελέτη για το βέλτιστο πάχος των κρυσταλλικών σπινθηριστών $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ και $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ σε συνθήκες ακτινοβολίας χαμηλής τάσης λυχνίας ακτίνων X (50 kVp), για πιθανή τους χρήση σε εφαρμογές ακτινογραφίας χαμηλής ενέργειας, μη ιατρικής χρήσης. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με βάση την επίδραση του πάχους των κρυστάλλων στην Απόλυτη Απόδοση Φωταύγειας (AE). Τα αποτελέσματα για τον κρύσταλλο $\text{LaCl}_3:\text{Ce}$ ανακοινώθηκαν με την μορφή αναρτημένης ανακοίνωσης (poster) στο International Conference on Radiation Applications (RAP 2023) που πραγματοποιήθηκε στην Ανάβυσσο στις 29 Μαΐου-2 Ιουνίου 2023. Τα αποτελέσματα για τον σπινθηριστή $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ τα παρουσίασα προφορικά στο επιστημονικό συνέδριο Advances in Biomedical Sciences, Engineering and Technology conference (ABSET 2023), το οποίο διεξήχθη στο συνεδριακό κέντρο του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής στις 10-11 Ιουνίου 2023. Στο ABSET 2023 η συμμετοχή ήταν δωρεάν, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή διάχυση όλων των αποτελεσμάτων.

Σχετική ερευνητική δραστηριότητα σε επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια

1. Stavros Tseremoglou, Christos Michail, Ioannis Valais, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Ioannis Kandarakis, George Fountos and Nektarios Kalyvas. "Evaluation of Cerium-Doped Lanthanum Bromide (LaBr₃:Ce) Single-Crystal Scintillator's Luminescence Properties under X-ray Radiographic Conditions". Applied Sciences 2023, 13(1), 419. <https://doi.org/10.3390/app13010419>
2. Stavros Tseremoglou, Vasileios Ntoupis, Dionysios Linardatos, Ioannis Valais, Christos Michail, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Eleftherios Lavdas, Ioannis Kandarakis, George Fountos and Nektarios Kalyvas. "Temperature Dependence of the Luminescence Output of LaCl₃:Ce Single Crystal Scintillator". Procedia Struct. Integr. 2023, 47, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.07.002>
3. Dionysios Linardatos, Vasileios Ntoupis, Stavros Tseremoglou, Ioannis Valais, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Eleftherios Lavdas, Ioannis Kandarakis, Nektarios Kalyvas, George Fountos and Christos Michail: "Light output dependence of CeBr₃ hygroscopic scintillator upon temperature". Procedia Struct. Integr. 2023, 47, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.06.043>
4. Stavros Tseremoglou, Vasileios Ntoupis, Dionysios Linardatos, Ioannis Valais, Christos Michail, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Eleftherios Lavdas, Ioannis Kandarakis, George Fountos and Nektarios Kalyvas. **Oral presentation (IGF 27)**: "Temperature Dependence of the Luminescence Output of LaCl₃:Ce Single Crystal Scintillator".
5. Stavros Tseremoglou, Dionysios Linardatos, Ioannis Valais, Christos Michail, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Ioannis Kandarakis, George Fountos and Nektarios Kalyvas. **Poster (RAP 2023)**: "LaCl₃:Ce crystalline scintillator thickness optimization for low radiographic X-ray tube voltages: A theoretical study".
6. Stavros Tseremoglou, Dionysios Linardatos, Ioannis Valais, Christos Michail, Konstantinos Ninos, Athanasios Bakas, Ioannis Kandarakis, George Fountos and Nektarios Kalyvas. **Oral presentation (ABSET 2023)**: "A theoretical study of LaBr₃:Ce crystalline scintillator thickness effect in Absolute Efficiency for radiographic X-ray tube voltage of 50 kVp".

Βιβλιογραφία

- [1] Tseremoglou S, Michail C, Valais I, Ninos K, Bakas A, Kandarakis I, et al. Evaluation of Cerium-Doped Lanthanum Bromide (LaBr₃:Ce) Single-Crystal Scintillator's Luminescence Properties under X-ray Radiographic Conditions. Applied Sciences 2022; 13:419. <https://doi.org/10.3390/app13010419>.
- [2] Nikolopoulos D, Kalyvas N, Valais I, Argyriou X, Vlamakis E, Sevvos T, et al. A semi-empirical Monte Carlo based model of the Detector Optical Gain of Nuclear Imaging scintillators. J Inst 2012; 7:P11021–P11021. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/7/11/P11021>.
- [3] David S, Michail C, Seferis I, Valais I, Fountos G, Liaparinos P, et al. Evaluation of Gd₂O₂S:Pr granular phosphor properties for X-ray mammography imaging. Journal of Luminescence 2016; 169:706–10. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2015.01.044>.
- [4] Kalyvas N, Valais I, Michail C, Fountos G, Kandarakis I, Cavouras D. A theoretical study of CsI:Tl columnar scintillator image quality parameters by analytical modeling. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 2015; 779:18–24. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2015.01.027>.

- [5] Saatsakis G, Kalyvas N, Michail C, Ninos K, Bakas A, Fountzoula C, et al. Optical Characteristics of ZnCuInS/ZnS (Core/Shell) Nanocrystal Flexible Films Under X-Ray Excitation. Crystals 2019; 9:343. <https://doi.org/10.3390/cryst9070343>.
- [6] Kalyvas N, Saatsakis G, Valais I, Fountzoula C, Ninos K, Sianoudis I, et al. Study of UV interactions on PMMA based ZnCuInS/ZnS quantum dot films. Optical Materials 2022; 129:112493. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112493>.
- [7] Kalyvas N, Valais I, David S, Michail Ch, Fountos G, Liaparinos P, et al. Studying the energy dependence of intrinsic conversion efficiency of single crystal scintillators under X-ray excitation. Opt Spectrosc 2014; 116:743–7. <https://doi.org/10.1134/S0030400X14050117>.
- [8] Kandarakis I, Cavouras D, Nomicos CD, Panayiotakis GS. X-ray luminescence of ZnSCdS:Ag,Cu phosphor using X-ray beams for medical applications. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 2001; 179:215–24. [https://doi.org/10.1016/S0168-583X\(01\)00518-3](https://doi.org/10.1016/S0168-583X(01)00518-3).
- [9] Kandarakis I, Cavouras D, Panayiotakis GS, Nomicos CD. Evaluating x-ray detectors for radiographic applications: A comparison of ZnSCdS:Ag with and screens. Phys Med Biol 1997; 42:1351–73. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/42/7/009>.
- [10] Tseremoglou S, Michail C, Valais I, Ninos K, Bakas A, Kandarakis I, et al. Efficiency Properties of Cerium-Doped Lanthanum Chloride (LaCl₃:Ce) Single Crystal Scintillator under Radiographic X-ray Excitation. Crystals 2022; 12:655. <https://doi.org/10.3390/cryst12050655>.
- [11] Tseremoglou S, Michail C, Valais I, Ninos K, Bakas A, Kandarakis I, et al. Temperature Dependence of the Luminescence Output of LaCl₃:Ce Single Crystal Scintillator. Procedia Struct Integr 2023; 47:119–124. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.07.002>

ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Νεκτάριος Καλύβας
Αναπληρωτής Καθηγητής (ΕΚ)

Ιωάννης Βαλαής
Καθηγητής

Χρήστος Μιχαήλ
Επίκουρος Καθηγητής