

Ερευνητική πρόταση Σταύρου Τσερέμογλου

Μελέτη και βελτιστοποίηση παραμέτρων απόδοσης φωταύγειας κρυσταλλικών σπινθηριστών, για χρήση σε ανιχνευτικές διατάξεις ιοντίζουσών ακτινοβολιών υβριδικών συστημάτων ιατρικής απεικόνισης.

Study and optimization of luminescence efficiency parameters of crystalline scintillators, for use in ionizing radiation detection devices of hybrid medical imaging systems.

Οι σπινθηριστές είναι υλικά που όταν απορροφούν ακτινοβολία εκπέμπουν οπτικά φωτόνια. Τα υλικά αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά στα ιατρικά απεικονιστικά συστήματα ιοντίζουσών ακτινοβολιών γιατί η χρήση τους μειώνει την απαιτούμενη ακτινοβολία των ιατρικών εξετάσεων, επομένως μειώνει και τη δόση ιοντίζουσας ακτινοβολίας του εξεταζομένου. Ένας ανιχνευτής σπινθηρισμού συνδέεται με οπτικούς ανιχνευτές, όπως φιλμ, φωτοκαθόδους, φωτοδιόδους, CCD, a-Si/TFT, CMOS [1–4]. Οι σπινθηριστές είναι συνήθως μονοκρυσταλλοί, κοκκώδεις μορφής, μορφής στήλης ή κεραμικά μπλοκ. Οι ανιχνευτικές διατάξεις με σπινθηριστές έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολλούς τεχνολογικούς τομείς, από την βιομηχανία έως και την πυρηνική φυσική, με εξέχουσα εφαρμογή όμως την ιατρική απεικόνιση [5]. Σήμερα, μια ποικιλία ανιχνευτών σπινθηρισμού ιατρικής απεικόνισης συναντώνται σε συμβατικές και ψηφιακές ακτινογραφίες ακτίνων Χ, υπολογιστική τομογραφία ακτίνων Χ, υπολογιστική τομογραφία εκπομπής μονών φωτονίων (SPECT) και τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET) [4-7]. Η ευαισθησία αυτών των συστημάτων μπορεί να αυξηθεί σημαντικά όταν χρησιμοποιούνται πιο αποτελεσματικοί και γρηγορότεροι κρύσταλλοι σπινθηρισμού [5,8]. Επίσης χρησιμοποιούνται σε υβριδικά απεικονιστικά συστήματα όπως PET/CT και SPECT/CT.

Μία ενδιαφέρουσα εφαρμογή στα υβριδικά συστήματα PET/CT και SPECT/CT είναι η χρήση κοινού σπινθηριστή στο σύστημα Πυρηνικής Ιατρικής (PET, SPECT) και στο σύστημα Ακτινοδιαγνωστικής (CT). Σπινθηριστές κρυσταλλικής μορφής έχουν διερευνηθεί για χρήση σε συστήματα Πυρηνικής Ιατρικής. Ως παράδειγμα κρυσταλλικοί σπινθηριστές με αλογονούχες προσμίξεις, όπως για παράδειγμα οι LaCl_3 και LaBr_3 με πρόσμιξη Ce , έχουν μελετηθεί ευρέως σε εφαρμογές Πυρηνικής Ιατρικής καθώς παρέχουν, υψηλή απόδοση φωτός, καλή ενεργειακή ανάλυση [9], μικρό χρόνο αποδιέγερσης [10,11] αλλά και υψηλό ποσοστό απορρόφησης ιοντίζουσας ακτινοβολίας, λόγω της πυκνότητας και των ατομικών αριθμών τους [12]. Παρόλα αυτά, δεν έχουν ερευνηθεί σε εφαρμογές διέγερσης από ακτίνες Χ για πιθανή χρήση τους σε υβριδικά συστήματα SPECT/CT, PET/CT είτε σε απλά ακτινοδιαγνωστικά συστήματα. Για παράδειγμα, στους συγκεκριμένους κρυστάλλους έχει γίνει επισταμένη έρευνα απόκρισης και φασματικής εκπομπής αλλά όχι μελέτη είτε πειραματική είτε θεωρητική σε υβριδικά και ακτινοδιαγνωστικά συστήματα.

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η πειραματική και θεωρητική μελέτη της απόδοσης φωταύγειας σπινθηριστών κρυσταλλικής μορφής, όπως οι ανωτέρω, όταν διεγείρονται με ιοντίζουσα ακτινοβολία. Η μελέτη θα προσδιορίσει τη δυνατότητα 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.

Κύριες κατευθύνσεις της παρούσας διατριβής

Θα γίνει αξιολόγηση της αποδοτικότητας των κρυστάλλων μέσω προσδιορισμού παραμέτρων όπως: απόδοση απορρόφησης φωτονίων (QDE) και της ενέργειας τους (EAE), ολική απόδοση φωταύγειας (AE), θα ελεγχθεί η συμβατότητα του εξερχομένου φάσματος από τους κρυστάλλους με διάφορους οπτικούς ανιχνευτές, μέσω του παράγοντα φασματικής σύζευξης (SMF), θα μελετηθεί το ποσοστό διερχόμενου φωτός μέσα στο υλικό και θα προσδιοριστεί και ο ενδογενής συντελεστής μετατροπής ενέργειας ιοντίζουσας ακτινοβολίας σε φωτεινή ενέργεια.

Ο προσδιορισμός των παραπάνω παραμέτρων θα πραγματοποιηθεί μέσω του κατάλληλου πειραματικού εξοπλισμού, στο εύρος των ενεργειών της ακτινοδιαγνωστικής και σε διάφορες δόσεις ακτινοβολίας. Η μέτρηση της απόδοσης θα γίνει μέσω σφαίρας ολοκλήρωσης ή ισοδύναμης πειραματικής τεχνικής [6-8, 11]

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 [13-18].

Αναφορές

- [1] O. Mineev, Y. Kudenko, Y. Musienko, I. Polyansky and N. Yershov, Scintillator detectors with long WLS fibers and mult-pixel photodiodes, 2011 JINST 6 P12004 [arXiv:1110.2651].
- [2] A. Vandenbroucke, A.M.K. Foudray, P.D. Olcott and C.S. Levin, Performance characterization of a new high resolution PET scintillation detector, Phys. Med. Biol. 55 (2010) 5895.
- [3] B.K. Cha et al., Design and image-quality performance of high resolution CMOS-based X-ray imaging detectors for digital mammography, 2012 JINST 7 C04020.
- [4] A. Nassalski et al., Comparative study of scintillators for PET/CT detectors, IEEE Trans. Nucl. Sci. 54 (2007) 3.
- [5] M. Nikl, Scintillation detectors for X-rays, Meas. Sci. Technol. 17 (2006) R37.
- [6] I.G. Valais et al., Luminescence efficiency of Gd₂SiO₅:Ce scintillator under X-ray excitation, IEEE Trans. Nucl. Sci. 52 (2005) 1830.
- [7] I.G. Valais et al., Luminescence properties of (Lu,Y)₂SiO₅:Ce and Gd₂SiO₅:Ce single crystal scintillators under X-ray excitation for use in medical imaging systems, IEEE Trans. Nucl. Sci. 54 (2007) 11.
- [8] I.G. Valais, Systematic study of the light emission efficiency and the corresponding intrinsic physical characteristics of single crystal scintillators, doped with the trivalent cerium (Ce³⁺)

activator, in wide energy range (from 20 kV–18 MV) for medical applications, Ph.D. Thesis, University of Patras(2008).

[9]. Dvan Loef E V, Dorenbos P, van Eijk CWE, Kramer KW, Gudel HU (2002) Scintillation properties of LaBr 3:Ce3+crystals: fast, efficient and high-energy-resolution scintillators. Nucl Instrum Methods Phys Res A 486:254–258.

[10].Regis JM, Pascovivi G, Jolie J, Rudigier M (2010) The mirror symmetric centroid difference method for picosecond lifetime measurements via γ - γ coincidences using very fast LaBr 3(Ce) scintillator detector. Nucl Instrum Methods Phys Res A 622:83–92.

[11]. Bhattacharjee T, Banerjee D, Das SK, Chanda S, Malik T, Chowdhury A, Das P, Bhattacharyya S, Guin R (2013) Spectroscopy of low-lying states in odd-odd ^{146}Eu . Phys Rev C 88:014313.

[12]. Higgins W, Churilov A, van Loef W, Glodo J, Squillante M, Shah K (2008) Crystal growth of large diameter LaBr 3: Ce and CeBr3. J Cryst Growth 310:2085–2089.

[13] E. Roncali, M.A. Mosleh-Shirazi, A. Baddano, Modelling the transport of optical photons in scintillation detectors for diagnostic and radiotherapy imaging, Phys. Med. Biol. 62 (2017) R207–R235.

[14] Nikolopoulos, D.; Kalyvas, N.; Valais, I.; Argyriou, X.; Vlamakis, E.; Sevvos, T.; Kandarakis, I. A semi-empirical Monte Carlo based model of the Detector Optical Gain of Nuclear Imaging scintillators. J. Instrum. 2012, 7, P11021.

[15] Kalyvas, N.; Valais, I.; David, S.; Michail, C.; Fountos, G.; Liaparinos, P.; Kandarakis, I. Studying the energy dependence of intrinsic conversion efficiency of single crystal scintillators under X-ray excitation. Opt. Spectr. 2014, 116, 743–747.

[16] Kalyvas, N.; Valais, I.; Michail, C.; Fountos, G.; Kandarakis, I.; Cavouras, D. A theoretical study of CsI:TI columnar scintillator image quality parameters by analytical modeling. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. 2015, 779, 18–24.

[17] David, S.; Michail, C.; Seferis, I.; Valais, I.; Fountos, G.; Liaparinos, P.; Kandarakis, I.; Kalyvas, N. Evaluation of Gd₂O₂S:Pr granular phosphor properties for X-ray mammography imaging. J. Lumin. 2016, 169, 706–710.

[18] Saatsakis, G.; Kalyvas N.; Michail, C.; Ninos, K.; Bakas, A.; Fountzoula, C.; Sianoudis, I.; Karpetas, G.E.; Fountos, G.; Kandarakis, I.; Valais I.; and Panayiotakis G Optical Characteristics of ZnCuInS/ZnS (Core/Shell) Nanocrystal Flexible Films Under X-ray Excitation Crystals, 9, 2019, 343 doi:10.3390/cryst9070343.