

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

του Ποτηριάδη Νικολάου του Χρήστου

Μηχανικού Βιοϊατρικής, Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

ΘΕΜΑ: «*Ανάπτυξη και αξιολόγηση ανιχνευτών πυρηνικής ιατρικής συμβατούς για απεικόνιση μαγνητικής τομογραφίας*» - «*Development and evaluation of nuclear medicine detectors compatible for magnetic resonance (MR) imaging*»

Προτεινόμενος επιβλέπων: Ευστράτιος Δαυίδ, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής, ΠΑΔΑ.

Θεματική Περιοχή: Ανιχνευτές Πυρηνικής Ιατρικής Απεικόνισης, Ανόργανοι σπινθηριστές, Φωτοπολλαπλασιαστές πυριτίου

Λέξεις κλειδιά: Ανιχνευτές σπινθηρισμού, Φωτοπολλαπλασιαστές Πυριτίου (SiPMs)

Η πυρηνική ιατρική απεικόνιση έχει τις τελευταίες δεκαετίες συμβάλλει καθοριστικά στην ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών ιατρικής διάγνωσης και θεραπείας καρκινικών όγκων. Επίσης, σημαντικός είναι ο ρόλος της και στην πραγματοποίηση σημαντικών προκλινικών και κλινικών ερευνητικών μελετών για το βιοχημικό και μοριακό υπόβαθρο πολλών μορφών καρκίνου και των αντίστοιχων θεραπευτικών σχημάτων. Το μεγαλύτερο μέρος των απεικονιστικών συστημάτων πυρηνικής ιατρικής, βασίζεται σε ανιχνευτές σπινθηρισμών (scintillation detectors) [1-4]. Οι ανιχνευτές σπινθηρισμού συγκροτούνται από τα ακόλουθα επί μέρους τμήματα: α) σπινθηριστής (φθορίζον υλικό), όπου η προσπίπτουσα ιοντίζουσα ακτινοβολία μετατρέπεται σε φως (φωτεινή ροή), β) οπτικός αισθητήρας, όπου το συλλεγόμενο φως μετατρέπεται σε ροή ηλεκτρονίων-ρεύμα, γ) τμήμα ηλεκτρονικής επεξεργασίας των σημάτων που αποδίδονται στην έξοδο του ζεύγους σπινθηριστή-οπτικού αισθητήρα.

Στην παρούσα διατριβή θα γίνει συγκριτική μελέτη της συμπεριφοράς νέων υλικών σπινθηρισμού μονοκρυσταλλικού τύπου GAGG:Ce, LGSO:Ce, LSF:Ce, BGO κτλ επιφάνειας $3 \times 3 \text{ mm}^2$ και διαφόρων διαστάσεων πάχους για εφαρμογές σε μαγνητικά συμβατούς ανιχνευτές τύπου SPECT/MR και PET/MR [5-11]. Αυτοί οι ανιχνευτές αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία συχνά ως μαγνητικά συμβατοί (MR compatible) και στηρίζονται σε οπτικούς ανιχνευτές βασισμένους σε φωτοπολλαπλασιαστές πυριτίου (SiPMs) όπου μπορούν και λειτουργούν σε έντονα μαγνητικά πεδία [12-13]. Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί οπτικοί ανιχνευτές (εταιριών όπως η Hamamatsu, KETEK, SensL κτλ) όπου παρουσιάζουν καλύτερα χαρακτηριστικά από τους

παραδοσιακούς ανιχνευτές (φωτοπολλαπλασιαστές) και έχουν και αρκετά μειωμένο κόστος κατασκευής [14].

Η διδακτορική έρευνα θα υλοποιηθεί ακολουθώντας τα παρακάτω στάδια εργασίας:

1. Πειραματικός προσδιορισμός του πάχους του σπινθηριστή. Το πάχος παίζει καθοριστικό ρόλο στην απορρόφηση της ιοντίζουσας ακτινοβολίας και θα βρεθεί πειραματικά το βέλτιστο πάχος απόδοσης της μέγιστης φωτεινής ροής.
2. Πειραματικός προσδιορισμός του οπτικού φάσματος εκπομπής των σπινθηριστών (μέσω διέγερσης UV) και υπολογισμοί της φασματικής συμβατότητας (SMF-spectral matching factor) με διάφορους εμπορικούς φωτοπολλαπλασιαστές πυριτίου.
3. Πειραματικός προσδιορισμός της ομοιομορφίας των σπινθηριστών, της οπτικής διαπερατότητας και διερεύνηση των απωλειών φωτεινής ροής στο εσωτερικό του υλικού των σπινθηριστών.
4. Πειραματικός προσδιορισμός της ενεργειακής διακριτικής ικανότητας, της ευαισθησίας, της γραμμικότητας, του φωτοποσοστού και του χρόνου απόκρισης των ανιχνευτών.
5. Δημοσίευση των αποτελεσμάτων και σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχους ανιχνευτές που προτείνονται στην βιβλιογραφία ή/και χρησιμοποιούνται σε εμπορικούς ανιχνευτές.

Μέσω των αποτελεσμάτων της διατριβής θα εκτιμηθεί:

- i) Ο καλύτερος συνδυασμός ανιχνευτή (υλικό σπινθηρισμού και φωτοπολλαπλασιαστή πυριτίου) σε συνάρτηση με το πάχος και την ενέργεια της ακτινοβολίας καθώς και το βέλτιστο πάχος για κάθε είδος σπινθηριστή που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές τύπου SPECT/MR και PET/MR με σκοπό τη βελτίωση της τελικής διαγνωστικής εικόνας και τη μείωση της δόσης.
- ii) Η καταλληλότητα ή μη του κάθε συνδυασμού ανιχνευτή για εφαρμογή σε μαγνητικά συμβατά τομογραφικά συστήματα για τα κύρια ισότοπα (^{99m}Tc και ^{18}F) που χρησιμοποιούνται στην Πυρηνική Ιατρική απεικόνιση.

Αναφορές

1. A. Del Guerra, 'Ionizing Radiation Detectors for Medical Imaging', World Scientific Publishing, Singapore (2004).
2. G. Blasse and B.C. Grabmaier, 'Luminescent Materials', Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany (1994).
3. Van Eijk C.W.E., 'Inorganic scintillators in medical imaging' *Phys. Med. Biol.* 47. R85–106, (2002).
4. A. Rodnyi Piotr, 'Physical Processes in Inorganic Scintillators' (New York: CRC Press), 1997.

5. S. Vandenberghe, P.K. Marsden, 'PET-MRI: A review of challenges and solutions in the development of integrated multimodality imaging' *Physics in Medicine and Biology*, 60 (4), pp.R115-R154 (2015).
6. S. David, M. Georgiou, E. Fysikopoulos, N. Belcari and G. Loudos, "Imaging performance of silicon photomultipliers coupled to BGO and CsI:Na arrays", *Journal of Instrumentation*, Vol 8, P12008, (2013).
7. S. David, M. Georgiou, E. Fysikopoulos, G. Loudos "Evaluation of a SiPM array coupled to a $Gd_3Al_2Ga_3O_{12}:Ce$ (GAGG:Ce) discrete scintillator" *Physica Medica* Vol 31 (7), pp. 763-766, (2015).
8. M. Georgiou, E. Fysikopoulos, M. D'Ignazio, L. Montalto, S. David, L. Scalise, G. Loudos, "Small field of view nuclear imaging detector evaluation using Tc-99m and Ga-67 radioisotopes" *Journal of Instrumentation* 14 T05005, <https://doi.org/10.1088/1748-0221/14/05/T05005>, (2019).
9. Elenasophie Monachesi, Anna Dezi, Michela D'Ignazio, Lorenzo Scalise, Luigi Montalto, Nicola Paone, Daniele Rinaldi, George Loudos, Stratos David "Comparative Evaluation of Cesium Iodine Scintillators Coupled to a Silicon Photomultiplier (SiPM): Effect of thickness and doping on the Scintillators" *Journal of Physics: Conference Series* Vol. 931(1),012013, (2017).
10. S. David and I. Kandarakis. "Development of a submillimeter portable gamma-ray imaging detector, based on a GAGG:Ce - silicon photomultiplier array" In the book series Springer Proceedings in Physics 227, pp. 211-219, 2019
11. S. David, E. Fysikopoulos, M. Georgiou and G. Loudos, "EVALUATION OF A SiPM ARRAY DETECTOR COUPLED TO A LFS-3 PIXELLATED SCINTILLATOR FOR PET/MR APPLICATIONS", 4th Conference on PET/MR and SPECT/MR, PSMR, Elba, Italy, (2015)
12. M. G. Bisogni, A. Del Guerra, N. Belcari, 'Medical applications of silicon photomultipliers'. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A*, 926, 118–128, (2019).
13. F. Simon, 'Silicon photomultipliers in particle and nuclear physics'. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A*, 926, 85–100, (2019)
14. N. Anfimov, 'State of Art in development of Silicon photomultipliers' ISMART-2018, Minsk, Belarus <https://belnet.bsu.by/download.php?id=818> (2018).