

Nowe kierunki w dozymetrii i radioterapii wykorzystujące materiały luminescencyjne oraz scyntylatory 3D

dr inż. Dagmara Kulig





Katedra Oddziaływań i Detekcji Cząstek

Motywacja do podjęcia badań

- Termoluminescencja (TL) <u>LiF: Mg,Ti</u>; <u>LiF: Mg, Cu, P</u>
- Optycznie stymulowana luminescencja **(OSL)** Al₂O₃:C, BeO

W 2011 roku zauważono, że fosforan magnezowo–litowy (LiMgPO₄) jest materiałem, który mógłby zostać wykorzystany w dozymetrii OSL.

Od tego momentu pojawiło się szereg prac opisujących właściwości TL/OSL fosforanu magnezowo-litowego domieszkowanego:

• <u>terbem i borem</u>

[Kumar i wsp., 2011; Menon i wsp., 2012; Singh i wsp., 2012; Kumar i wsp.,

2013; Bajaj i wsp., 2016; Rawat i wsp., 2017; Menon i wsp., 2018]

• <u>terbem, samarem i borem</u>

[Gai i wsp., 2013]

• <u>europem, samarem i borem</u>

[Gai i wsp., 2015]

• <u>tulem i terbem</u>

D. Kulig

[Guo i wsp., 2017].





Celem pracy było opracowanie oraz zbadanie właściwości luminescencyjnych nowych materiałów otrzymanych na bazie fosforanu magnezowo–litowego (LMP) pod kątem wykorzystania ich w dozymetrii promieniowania jonizującego. Otrzymane materiały poddano analizie metodami termicznie oraz optycznie stymulowanej luminescencji (odpowiednio TL i OSL) w celu określenia ich właściwości luminescencyjnych. Przeprowadzone badania obejmowały pomiary:

Przeprowadzone badania metodą TL i OSL obejmowały pomiary:

- ✓ wielkości sygnału TL/OSL po napromienieniu określoną dawką,
- ✓ powtarzalności sygnału TL/OSL,

- ✓ stabilności sygnału TL/OSL w czasie,
- ✓ liniowej odpowiedzi w badanym zakresie dawek,
- ✓ wpływu wstępnego wygrzewania próbek na stabilność sygnał TL/OSL w czasie,
- ✓ wpływu światła i temperatury na mechanizmy TL i OSL.



Formy materiału LiMgPO₄ wykorzystane do badań







- ✓ Tb_4O_7 (Tb, terb)
- ✓ H_3BO_3 lub Na₂B₄O₇ (B, bor)
- ✓ Er_2O_3 (Er, erb)
- ✓ Eu_2O_3 (Eu, europ)
- ✓ Gd_2O_3 (Gd, gadolin)
- ✓ Tm_2O_3 (Tm, tul)



 $\it Rys. 1. Otrzymane \ proszki \ LiMgPO_4 wykorzystane \ do \ dalszych \ badań.$



Formy materiału LiMgPO₄ wykorzystane do badań

✓ Folie

D. Kulig



Zgniatanie w temperaturze 270°C z siłą 3 ton przez 8 minut

*folie LiMgPO*₄



Rys.2. Otrzymane folie LiMgPO₄ na bazie proszków wykorzystane do dalszych badań.



Formy materiału LiMgPO₄ wykorzystane do badań

✓ Kryształy

D. Kulig



Micro-Pulling Down (MPD)

Warunki wzrostu indywidualnie dobierane dla danego materiału wsadowego: moc grzania pieca od kilku do kilkunastu %

kryształy LiMgPO₄



Rys.3. Otrzymane kryształy LiMgPO₄ na bazie proszków wykorzystane do dalszych badań.

Metoda mikrowyciągania, micro-pulling down (MPD)



Rys. 4. Aparatura MPD w IFJ PAN Kraków – wnętrze pieca

D. Kulig



Rys.5. Schemat pieca do wyciągania kryształów metodą MPD i klatka z realnego procesu. Źródło: D. Sangla i in., High power laser operatio with crystal fibers. Applied Physics B. 97, 263–273, (2009).

Metoda mikrowyciągania, micro-pulling down (MPD)





D. Kulig



POCZĄTEK PROCESU tygiel 片 stopiony zarodek materiał 2 3 KONIEC PROCESU rosnący kryształ 6 5 7

Metoda mikrowyciągania, micro-pulling down (MPD)

✓ Realny proces





Nowe kierunki w dozymetrii i radioterapii ...

Aparatura

Napromienianie

dwa wbudowane źródła – ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr/⁹⁰Y



zewnętrzne źródło – ⁹⁰Sr/⁹⁰Y



Pomiar TL/OSL



D. Kulig

czytnik OSL - Helios – 1



W ramach pracy doktorskiej:

Otrzymano		
30 proszków LiMPO ₄	3 folie LiMPO ₄	91 kryształów LiMPO ₄
	Zbadano	
 Wszystkie proszki: ➤ TL/OSL ➤ zanik sygnału OSL w czasie Proszki LMP 10 i LMP 13 : ➤ powtarzalność sygnału OSL ➤ odpowiedź dawkową ➤ wpływ wstępnego wygrzewania na właściwości OSL 	 Folie LMP 14 i LMP 20: > powtarzalność sygnału > zanik sygnału OSL w czasie > odpowiedź dawkową > zależność energetyczną Folie LMP 10 i LMP 14: > wpływ wstępnego wygrzewania oraz wybielania światłem podczerwonym na poziom sygnału OSL badanych folii LMP 	 Kryształy niedomieszkowane: > podstawowe właściwości TL/OSL Kryształy z 2 domieszkami (Tb,B): > podstawowe właściwości OSI Kryształy z 3 domieszkami (Tb, B + ziemie rzadkie Er, Eu, Tm, Gd): > podstawowe właściwości OSI > wpływ wstępnego wygrzewania na właściwości OSL > sygnał OSL po wygrzaniu TL

D. Kulig



Nowe kierunki w dozymetrii i radioterapii ...

OSL

✓ Materiał czuły na promieniowanie jonizujące



Warunki odczytu: stymulacja światłem niebieskim o długości fali 470 nm, detekcja w zakresie UV.

D. Kulig

✓ Materiał czuły na promieniowanie jonizujące

D. Kulig



✓ Powtarzalność sygnału OSL

proszki LiMgPO₄:Tb,B







D. Kulig

✓ Odpowiedź dawkowa

D. Kulig



✓ Zanik czułości OSL w czasie (ang. fading)





Nowe kierunki w dozymetrii i radioterapii ...

✓ Procedura wstępnego wygrzewania

D. Kulig



Wygrzewanie wstępne w temperaturze 150°C przez 60 s



Zanik czułości OSL w czasie z zastosowaniem wstępnego wygrzewania \checkmark



Nowe kierunki w dozymetrii i radioterapii ...

✓ Powtarzalność sygnału OSL z zastosowaniem wstępnego wygrzewania

D. Kulig





Projekt DOSE 3D



Materiały i metody

✓ Scyntylatory plastikowe

D. Kulig

 To materiały zdolne do przekształcania wysokoenergetycznego promieniowania, takiego jak promieniowanie rentgenowskie lub gamma, w światło bliskie widzialnemu lub widzialnemu.

- Są one szeroko stosowane jako detektory w diagnostyce medycznej, fizyce wysokich energii oraz eksploracji geofizycznej ^[1].
- Scyntylatory mogą być gazowe, ciekłe lub stałe, organiczne (np. tworzywa sztuczne) lub nieorganiczne (szkło, pojedynczy kryształ, ceramika).
- Organiczne scyntylatory są preferowane do zastosowań w dozymetrii i fizyce medycznej ze względu na swoją równoważność wodną (gęstość około 1 g/cm3); ich skład pierwiastkowy, podobny do tego w tkankach ludzkich (głównie węgiel, wodór oraz śladowe ilości tlenu i azotu); oraz łatwość wytwarzania organicznych scyntylatorów o małych geometriach w celu uzyskania wysokiej rozdzielczości przestrzennej ^[2].

[1] G.F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, New York, 1989
 [2] Carrasco P, Jornet N, Jordi O, Lizondo M, Latorre-Musoll A, Eudaldo T, et al. Characterization of the Exradin W1 scintillator for use in radiotherapy. Med Phys. 2015;42: 297–304.



Źródło: na podstawie Dong Geon Kim i in., Enhanced characteristics of 3D-Printed plastic scintillators based on bisphenol fluorene diacrylates. Radiation Physics and Chemistry 198, 110255, (2022).

Materiały i metody

✓ Plastikowe scyntylatory 3D i układ pomiarowy

Do pomiarów wykorzystano 3 rodzaje scyntylatorów:

- RP-408 (maksimum emisji 425 nm)
- 3DPS violet (maksimum emisji 429nm)
- 3DPS blue (maksimum emisji 470 nm)



Źródło: *Kulig D.*, i in., Comparison of cell casted and 3D-printed plastic scintillators for dosimetry applications. Radiation Protection Dosimetry, 199 (15-16), 1824-1828, (2023).

D. Kulig



Rys.8. Laboratorium zaawansowanych technik scyntylacyjnych w AGH.

Przygotowanie scyntylatorów

Metody obróbki powierzchniowej



Metody owijania

D. Kulig



Malowanie powierzchni







✓ Przygotowanie powierzchni i owijanie



Źródło: Kulig D., i inni., Comparison of cell casted and 3D-printed plastic scintillators for dosimetry applications. Radiation Protection Dosimetry, 199 (15-16), 1824-1828, (2023).

D. Kulig

✓ Przygotowanie powierzchni i owijanie



Źródło: Kulig D., i inni., Comparison of cell casted and 3D-printed plastic scintillators for dosimetry applications. Radiation Protection Dosimetry, 199 (15-16), 1824-1828, (2023).

Nowe kierunki w dozymetrii i radioterapii ...

✓ Przygotowanie powierzchni i owijanie



Źródło: Kulig D., i inni., Comparison of cell casted and 3D-printed plastic scintillators for dosimetry applications. Radiation Protection Dosimetry, 199 (15-16), 1824-1828, (2023).

Nowe kierunki w dozymetrii i radioterapii ...

✓ Pomalowane vs. niepomalowane scyntylatory



✓ Liczba warstw

D. Kulig



Podsumowanie i wnioski

- ✓ LiMgPO₄ jest luminoforem bardzo czułym na promieniowanie jonizujące.
- ✓ Stosując metodę termoluminescencji otrzymano krzywe jarzenia TL, które dla większości domieszkowanych proszków i kryształów LMP charakteryzowały się pikami w niskiej temperaturze (około 100°C). Wyjątek stanowił LiMgPO₄:Tb,B,Tm, który cechował się również pikiem wysokotemperaturowym o stosunkowo wysokiej amplitudzie występującym w temperaturze około 350°C.
- ✓ Otrzymane materiały LMP bez względu na swoją formę (proszek, folia czy kryształ) charakteryzują się dobrą powtarzalnością sygnału (rozbieżność sygnału OSL poniżej 5%).
- ✓ Wyniki pomiarów odpowiedzi dawkowej , że materiały te przeważnie cechuje liniowa odpowiedź dopiero w zakresie dawek powyżej 50 mGy.
- ✓ Procedura wstępnego wygrzewania znacznie poprawia stabilność sygnału OSL w czasie. Jednakże procedurę tę należy ustalać indywidualnie dla danego materiału.
- ✓ Wykazaliśmy, że wykończenie powierzchni i owinięcie poprawiają wydajność świetlną scyntylatorów drukowanych w 3D, umożliwiając ich zastosowanie jako materiału dozymetrycznego.
- ✓ Wyniki pokazały, że sygnał świetlny wykryty przez fotopowielacz wzrósł o około 2,6 dla scyntylatorów owiniętych i szlifowanych oraz 2,1 dla scyntylatorów owiniętych i polerowanych w porównaniu z próbkami pierwotnymi.

Podsumowanie i wnioski

- ✓ Różnica między sygnałem świetlnym zbieranym z scyntylatorów owiniętych taśmą PTFE i folią ESR wynosi około 1%.
- ✓ W scyntylatorach bez owijania, około połowa emitowanego światła uciekła przez boczne ściany i górę kostki próbki.
- ✓ Nie ma istotnej różnicy między sygnałem świetlnym zbieranym z próbki pierwotnej a próbką z wykończonymi ścianami, co umożliwia montaż dowolnego detektora z scyntylatora drukowanego w 3D bez dodatkowej obróbki (polerowania, matowienia).
- ✓ Wyniki badań pokazały również, że malowanie kostek scyntylatorów 3D, niezależnie od rodzaju użytej farby (tytanowa, akrylowa), znacząco wpływa na poziom emisji światła scyntylatorów 3D.
- ✓ Emisja światła scyntylatorów plastikowych pomalowanych farbą tytanową jest 3,5 razy wyższa, niż emisja światła niepomalowanych scyntylatorów plastikowych. Z kolei emisja światła scyntylatorów pomalowanych farbą akrylową jest 2,8 razy wyższa niż emisja światła niepomalowanych scyntylatorów.
- ✓ Dotychczasowe wyniki pokazały, że liczba warstw użytych znacząco zwiększa emisję światła scyntylatorów 3D i poprawia powtarzalność między próbkami.
- ✓ Zastosowanie podkładu znacząco poprawia emisję światła podczas nakładania 1 warstwy farby, podczas gdy dla kolejnej warstwy poziom emisji światła jest taki sam jak dla kostek scyntylatorów malowanych tylko farbą.

Dziękuję za uwagę!