

dr hab. Alicja Chruścińska
Zakład Fizyki Półprzewodników i Fizyki Węgla
Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Grudziądzka 5/7
87-100 Toruń

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Mrozik pt.

"Opracowanie luminescencyjnej metody określania dawek w dozymetrii awaryjnej z wykorzystaniem komponentów telefonów komórkowych i banknotów"

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Anny Mrozik została wykonana pod kierunkiem pani promotor dr hab. inż. Barbary Marczewskiej oraz promotora pomocniczego pana dr. inż. Mariusza Kłosowskiego w Zakładzie Fizyki Radiacyjnej i Dozymetrii Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Prace przeprowadzone w czasie przygotowania rozprawy odpowiadają na realną potrzebę stworzenia w naszym kraju bazy materiałów nadających się do dozymetrii awaryjnej, czyli do określania dawki pochłoniętej przez osoby narażone na promieniowanie jonizujące w czasie wypadku radiacyjnego. Materiały wykorzystywane jako dozymetry w takiej sytuacji powinny stanowić element przedmiotów powszechnie i na co dzień wykorzystywanych przez człowieka i znajdujących się zazwyczaj blisko jego ciała. Wymóg ten sprawia, że baza materiałów nadających się do dozymetrii awaryjnej, przynajmniej częściowo, ma charakter lokalny i państwo dbające o bezpieczeństwo swoich obywateli powinno zadbać o stworzenie własnej takiej bazy. Zwykle jednak tego typu obowiązki spadają na osoby lepiej zdające sobie sprawę z tak szczegółowych problemów. Tym razem spełnienia takiego obowiązku podjęła się pani mgr inż. Anna Mrozik. Celem jej pracy było sprawdzenie przydatności materiałów będących elementami telefonów komórkowych oraz polskich banknotów do wykorzystania w dozymetrii awaryjnej oraz wypracowanie protokołów pomiarowych prowadzących do wyznaczenia dawki zaabsorbowanej przez te materiały w wypadku radiacyjnym. Cel pracy został zrealizowany, a wykorzystanie jej rezultatów w razie nagłej potrzeby pozwoli uniknąć zamieszania, dokonać szybkiej klasyfikacji osób narażonych do różnych grup ryzyka oraz zastosować odpowiednie wobec nich postępowanie medyczne.

Rozprawa doktorska mgr inż. Mrozik ma czytelny układ. Wraz z wprowadzeniem i podsumowaniem składa się z dziesięciu rozdziałów, spisów literatury, rysunków i tabel oraz z dwóch dodatków. W pierwszym rozdziale autorka wykorzystwała ciekawy wstęp historyczny do wyjaśnienia motywów i znaczenia swojej rozprawy. Jasno określiła cel pracy oraz szczegóły sposobu jego realizacji. Zwięzły drugi rozdział stanowi przewodnik po treści rozprawy, którą podzielono na dwie części: przedstawiającą podstawowe zagadnienia związane z dziedziną, której poświęcona jest rozprawa, oraz prezentującą własne wyniki badań. W ramach pierwszej części pracy scharakteryzowano rodzaje technik detekcji promieniowania jonizującego, określono miejsce, jakie wśród nich zajmuje dozymetria awaryjna realizowana metodami luminescencyjnymi, a także sprecyzowano warunki pozwalające na zakwalifikowanie materiału jako nadającego się do wykorzystania w dozymetrii awaryjnej (rozdział 3). W części tej omówiono też fizyczne podstawy dozymetrii luminescencyjnej wykorzystując najprostszy model zjawiska stymulowanej luminescencji (rozdział 4) oraz przedstawiono w szczegółach dwa protokoły pomiarowe stosowane w luminescencyjnej dozymetrii awaryjnej, a także przez autorkę w czasie realizacji pracy (rozdział 5). Po opisie aparatury używanej do pomiarów luminescencyjnych oraz źródeł

wykorzystanych do napromieniania próbek (rozdział 6), autorka gruntownie scharakteryzowała badane materiały, szczegółowo przedstawiła sposób przygotowania ich do pomiarów (rozdział 7). Należy pamiętać, że w dozymetrii awaryjnej precyzyjnie ustalona metoda przygotowania próbek do badań, z jednej strony jest bardzo istotna z uwagi na sprawne uzyskiwanie wyniku pomiaru dawki, z drugiej strony, natomiast, zabezpiecza przed utratą informacji o dawce na skutek niewłaściwego przygotowania materiału, którego zwykle nie można pobrać ponownie.

Ostatni rozdział (rozdział 8) pierwszej części rozprawy stanowi przegląd literatury dotyczącej zagadnień poruszanych w pracy. Jest to zwięzły fragment, lecz zawiera wiele odwołań do najistotniejszych wcześniejszych prac odnoszących się do wielu różnych materiałów, w tym także analogicznych do tych badanych w ramach przygotowania rozprawy. Na podstawie tego rozdziału można ocenić stopień oryginalności prac podjętych przez panią mgr inż. Mroziak. W przypadku rezystorów, które były dość intensywnie badane przez różnych autorów, nowość wyników polega na objęciu rozpoznaniem kolejnej generacji telefonów. Podobnie szeroko badane były szkła wyświetlaczy, tu jednak autorka wniosła w zagadnienie własny wkład polegający na zastosowaniu procedury pomiarowej pozwalającej na uzyskiwanie dokładniejszych wyników. Detekcję TL w ramach nowej procedury realizuje się w znacznie szerszym niż dotychczas paśmie spektralnym. Prace poświęcone układom scalonym z telefonów komórkowych stanowią najbardziej oryginalny wkład autorki pracy w dziedzinę luminescencyjnej dozymetrii awaryjnej, gdyż właściwości dozymetryczne tych materiałów nie były wcześniej szczegółowo testowane. Banknoty będąc typowymi dla danego kraju wymagają indywidualnych krajowych badań, które w ramach pracy przeprowadzono z dużą pieczołowitością.

Druga część rozprawy, którą stanowi obszerny rozdział 9, jest dobrze udokumentowanym raportem z przeprowadzonych badań. Autorka prezentuje krzywe luminescencyjne zmierzone dla rezystorów, układów scalonych i wyświetlaczy pobranych z różnych typów telefonów oraz próbek starych i nowych banknotów 10- i 20-złotowych. Na tym etapie ustalane są także optymalne parametry pomiarów luminescencyjnych, które wykorzystane są w późniejszych testach przydatności poszczególnych typów materiałów do wyznaczania dawki. Testy te polegały na sprawdzeniu powtarzalności sygnału luminescencyjnego w cyklu wielokrotnych pomiarów oraz określeniu krzywych odpowiedzi dawkowej, najmniejszej mierzalnej dawki i charakteru zaniku sygnału w czasie przechowywania materiału po napromieniowaniu i przed odczytem luminescencji. Dla elementów pochodzących z telefonów zbadano także jakość odtwarzania zarówno dawki zaabsorbowanej przez poszczególne próbki po przygotowaniu ich do pomiarów, jak i dawki zaabsorbowanej w czasie napromienienia całych telefonów. W przypadku rezystorów zbadano także wpływ na wielkość określanej dawki trybu pracy, w którym znajduje się telefon w czasie napromienienia, oraz położenia rezystorów w telefonie. W rozdziale 10 autorka bardzo sprawnie podsumowała najważniejsze rezultaty swoich prac. Za swoiste podsumowanie pracy można uznać także stworzony przez autorkę rozprawy i opisany w Dodatku 2 arkusz kalkulacyjny, który pozwala na szybkie wyznaczenie dawki awaryjnej z wykorzystaniem elementów telefonów komórkowych oraz banknotów badanych w pracy. Narzędzie to ma realne praktyczne znaczenie. W przypadku wszystkich materiałów w nim uwzględnionych, a wcześniej będących przedmiotem badań, potwierdzono przydatność do odtwarzania dawek awaryjnych, gdyż niepewności względne dawek wyznaczanych z ich użyciem nie przekraczały 25%.

Należy podkreślić szeroki zakres prac (do badań wykorzystano elementy z 28 modeli telefonów i próbki z 15 banknotów) i staranność z jaką pani mgr inż. Mrozik je realizowała. Potwierdzeniem jakości jej badań jest bardzo dobry wynik pomiaru dawki awaryjnej uzyskany w międzynarodowych badaniach porównawczych podjętych przez 13 laboratoriów europejskich w ramach współpracy w zespole WG10 Europejskiej Grupy Dozymetrycznej EURADOS, której mgr inż. Mrozik jest członkiem. Wyniki badań porównawczych przeprowadzonych dla rezystorów pochodzących z telefonów komórkowych zostały pokrótce przedstawione w Dodatku, a także opublikowane w czasopiśmie Radiation Measurements. Podobnie rezultaty własnych badań autorki rozprawy dotyczące wyświetlaczy, układów scalonych oraz banknotów zostały zawarte w pracach, które już zostały opublikowane lub przesłane do redakcji.

Zwraca uwagę szczególnie staranna i bardzo estetyczna szata graficzna rozprawy. Rysunki z nielicznymi wyjątkami (jak np. Rys. 9.5, czy 9.16, które są zbyt małe) są czytelne i prezentują albo rozsądnie wybrane przykłady danych albo liczne rezultaty zestawione w poglądowy sposób pozwalający na ich łatwe porównanie. Język rozprawy jest prosty, łatwy w odbiorze i poprawny. Sporadycznie pojawiają się pewne "skrótowe myślowe" np. " odczyt dawki awaryjnej ", czy "odczyt dawki testowej" w tabelach prezentujących wykorzystywane procedury pomiarowe (np. Tab. 9.9, str. 92), co zapewne ma oznaczać odczyt sygnału OSL wzbudzonego dawką awaryjną i dawką testową, lub "Mechanizm pełni jednocześnie rolę grzałki" (str. 25), co nasuwa pytanie o znaczenie słowa mechanizm.

Pewną słabością formalną pracy jest koncepcja podziału treści w części prezentującej uzyskane wyniki badań autorki. Rozbicie informacji dotyczących poszczególnym materiałów na osobne podrozdziały dotyczące różnych aspektów badań utrudnia czytanie pracy i zmusza do wielokrotnego przeczucia stron rozprawy w poszukiwaniu informacji niezbędnych do studiowania treści pojawiających się w kolejnych podrozdziałach. Wyniki pracy, jak można chociażby wnioskować z załączonego w dodatku arkusza kalkulacyjnego, mogą stanowić cenną instrukcję do wykorzystania w konieczności realnej potrzeby wyznaczenia dawki awaryjnej. Zwykle w praktyce do pomiaru dawki wykorzystuje się konkretny rodzaj materiału, stąd bardziej przydatne w takiej okoliczności byłoby zestawienie w tekście całej wiedzy dotyczącej danego rodzaju materiału obok siebie, w jednym miejscu. Taki podział rozdziału 9, najwyraźniej nie ułatwił także redakcji tekstu samej autorce, gdyż rozproszenie różnych informacji o określonym materiale spowodowało, że pewnych interesujących danych w pracy nie zawarto lub nie można znaleźć. Nie jest np. zawsze jasne z ilu telefonów do poszczególnych badań pobrano rezystory, z ilu układy scalone, a z ilu wyświetlacze.

Rozczarowuje także nieco prezentacja fizycznych podstaw dozymetrii luminescencyjnej, a w szczególności pomieszenie pojęć fotoluminescencji i optycznie stymulowanej luminescencji i, jak można odnieść wrażenie, zawężanie zjawiska luminescencji do luminescencji stymulowanej (str. 13): "Materiały luminescencyjne posiadają zwykle strukturę krystaliczną i są zdolne do absorbowania i magazynowania energii (promieniowania jonizującego). Materiał taki nie może wielokrotnie emitować sygnału luminescencyjnego bez uprzedniej kolejnej ekspozycji na promieniowanie jonizujące". To raczej niefrasobliwe podejście do zgłębiania mechanizmu zjawisk luminescencji znalazło odbicie także w sformułowaniach, czy znów "skrótach myślowych" w podrozdziale 9.5. Dotyczy to fragmentu na stronie 102, gdzie pojawia się np. zdanie: "Przedstawione wyniki wskazują, że dawka pochłonięta w temperaturze 40°C jest 9% niższa od tej pochłoniętej w temperaturze pokojowej, natomiast dawka pochłonięta w temperaturze 160°C jest niższa o 90%." Chociaż nie można zaprzeczyć,

że temperatura materiału może mieć wpływ na procesy oddziaływania promieniowania z ośrodkiem, to z pewnością nie o takie efekty tu chodzi. W raportowanych wynikach od temperatury zależeć może wartość odtworzona dawki, a nie dawka faktycznie pochłonięta. Te niezbyt fortunate sformułowania dziwią tym bardziej, że sama autorka wcześniej w pracy przedstawia wyniki badań stabilności sygnału OSL w podwyższonych temperaturach dla układów scalonych. To samo termiczne opróżnianie płytszych pułapek zachodzi przy napromienianiu rezystorów w podwyższonej temperaturze. Co więcej ten sam efekt jest odpowiedzialny głównie za badany przez autorkę tzw. fading. W tym miejscu naturalnie pojawia się pytanie, czy w czasie przeprowadzonych prac brano pod uwagę zależność poprawki na fading od temperatury przechowywania próbki. W pracy, w podrozdziale 9.2.3, który dotyczy zaniku sygnału w czasie, nie podano temperatury przechowywania próbek po napromienianiu w czasie przeprowadzanych eksperymentów, a zależnie od indywidualnych własności pułapek odpowiedzialnych za mierzony sygnał luminescencyjny zmiana temperatury przechowywania próbki o kilka stopni może powodować widoczną różnicę w tempie zaniku sygnału stymulowanej luminescencji. Jeżeli do tej pory nie badano takich efektów, warto może w przyszłości poświęcić im nieco uwagi, tym bardziej, że prezentowane w pracy i publikowane rezultaty mają międzynarodowe znaczenie, a skrajne temperatury w różnych strefach klimatycznych znacznie się różnią.

Wspomniane wyżej nieliczne niedostatki nie umniejszają wartości pracy, którą oceniam wysoko. Uważam, że rozprawa w zupełności spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Anny Mroziak do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Toruń, 16.11.2016

Alicja Chruścińska