

CENTRALNE LABORATORIUM
OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
CENTRAL LABORATORY FOR
RADIOLOGICAL PROTECTION

CLOR-91 D



[REDACTED] EW
Raport CLOR-91/D

OPRACOWANIE SZKIEL
RADIOFOTOLUMINESCENCYJNYCH
DLA POTRZEB
DOZYMETRII INDYWIDUALNEJ

M. Wolska-Witer
A. Koczyński

WARSZAWA

1972

This report has been reproduced directly from
the best available copy

Распространяет:
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ
ПРИ УПОЛНОМОЧЕННОМ ПРАВИТЕЛЬСТВА ПНР
по Использованию Ядерной Энергии
Дворец Культуры и Науки
Варшава, ПОЛЬША

Available from:
NUCLEAR ENERGY INFORMATION CENTER
of the Polish Government Commissioner for Use
of Nuclear Energy
Palace of Culture and Science
Warsaw, POLAND

Drukuje i rozprowadza:
OŚRODEK INFORMACJI O ENERGII JĄDROWEJ
Pełnomocnika Rządu do Spraw Wykorzystania Energii Jądrowej
Warszawa, Pałac Kultury i Nauki

W y d a j e :
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Nakład: 575 egz. Objętość ark. wyd.: 125
ark. druk.: 1,7 Data złożenia maszynopisu: VIII 72r
Druk ukończono: IX 1972r, Zam. nr: 269/72



CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
CENTRAL LABORATORY FOR RADIOLOGICAL PROTECTION
Warsaw, Poland

Report Nr CLOR-92/D

**OPRACOWANIE SZKIEŁ RADIOFOTOLUMINESCENCYJNYCH
DLA POTRZEB DOZYMETRII INDYWIDUALNEJ**

**THE PREPARATION OF RADIOFOTOLUMINESCENT
GLASSES FOR INDIVIDUAL DOSEMETRY PURPOSES**

**ОБРАБОТКА РАДИОФОТОЛУМИНЕСЦЕНТНЫХ СТЕКЕЛ
К ЦЕЛЯМ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗИМЕТРИИ**

M. Wolka-Witer

A. Koczyński

Centralne Laboratorium Optyki

M. Wilgocki

W A R S Z A W A

1972

STRESZCZENIE

Ze szkła fosforanowego domieszkowanego srebrem, otrzymanego według opracowanej technologii, przygotowano detektory radiofotoluminescencyjne /RPL/ o wymiarach 8x8x4,7 mm, którymi można mierzyć dawki ekspozycyjne promieniowania gamma w zakresie od 0,2 do 1000 R z dokładnością +10%. Ich wydajność RPL, mierzona czytnikiem firmy Toshiba typ FGD-6, wynosi 53% w stosunku do szkieł produkcji Toshiba.

Określano podstawowe własności detektorów otrzymanych z różnych partii wytopionego szkła. Badano wpływ zmiany warunków technologicznych na zmianę własności dozymetrycznych szkła.

ABSTRACT

The phosphate glass doped with silver were prepared from which glass detectors of size 8x8x4,7 mm have been made. Using obtained glasses exposures of gamma radiation from 0,2 to 1000 R can be determined with accuracy of +10%. RPL efficiency measured on Toshiba FGD-6 reader were established to be 53% in comparison with glasses produced by Toshiba Factory.

The basic properties of the glasses obtained from various batches were measured. It have been examined the influences of the changes of technological conditions upon the dosimetric properties of glasses.

РЕЗЮМЕ

Приготовлено радиотолуминесцентные детекторы /РПЛ/ размеров 8x8x4,7 мм из фосфоранного стекла с примесью серебра, полученного по обработной технологии, которыми можно измерять экспозиционные дозы излучения гамма в диапазоне от 0,2 до 1000 Р с точностью до +10%. Производительность РПЛ измерена считывающим устройством фирмы Тошиба тип ФДГ-6, составляет 53% по отношению к стеклам производства фирмы Тошиба. Определено основные свойства детекторов полученных из различных шаржей выплавленного стекла. Исследовано влияние изменения технологических условий на изменение дозиметрических условий стекла.

1. WSTĘP

Małozieniem pracy było otrzymanie szkieł fosforanowych domieszkowanych srebrem i przygotowanie z nich awaryjnego dawkomierza indywidualnego do pomiaru dawek ekspozycyjnych promieniowania gamma dla potrzeb masowego użytku. Dawkomierz miał odpowiadać następującym wymaganiom:

- posiadać małe rozmiary i ciężar /do kilku gramów/,
- umożliwiać pomiary dawek ekspozycyjnych promieniowania gamma od 10 do 1000 R z dokładnością $\pm 10\%$,
- charakteryzować się zanikiem nie przekraczającym 10% na rok,
- zapewniać zachowanie niezmiennych własności dozymetrycznych w dowolnie długim czasie magazynowania dawkomierzy przed ich użyciem,
- umożliwiać bardzo szybki pomiar dawek,
- odznaczać się niewielkimi kosztami produkcyjnymi przy możliwości produkcji dużych serii bez konieczności wzorcowania poszczególnych dawkomierzy.

Na dawkomierze awaryjne masowego użytku stosowane są powszechnie w świecie szkła radiofotoluminescencyjne /RFL/.

Radiofotoluminescencją określa się przemiany, w których materiał początkowo nieluminescencyjny nabiera własności luminescencyjnych, jeśli - po uprzednim napromienieniu promieniowaniem jonizującym - poddany zostanie działaniu światła ultrafioletowego lub widzialnego. Luminescencja napromienionego materiału trwa tak długo, jak długo trwa oświetlanie materiału.

typowymi materiałami RPL są kryształy i szkła nieorganiczne domieszkowane najczęściej srebrem. Występowanie w nich przemian RPL przypisuje się obecności różnego rodzaju centrów luminescencji, jakie w materiałach tworzą głównie aktywatory /np. atomy srebra/. Rodzaj tych przemian fizycznych nie został dotychczas całkowicie wyjaśniony. Względnie dobrze poznano mechanizm zjawisk RPL w prostych kryształach jonowych /w halogenkach metali alkalicznych domieszkowanych srebrem/ i przez analogię z nimi wnioskuje się o procesach zachodzących w szklach. Dla wyjaśnienia kinetyki zjawisk RPL, Vogel i Becker [1] zaproponowali zastosowanie uproszczonego modelu /rys. 1/. Założyli oni następujące procesy:

- pod wpływem promieniowania jonizującego elektronu zostają przeniesione z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa /przejście D/;
- z pasma przewodnictwa część elektronów trafia bezpośrednio do centrów czynnych P /przejście R/ i powstaje nowy typ centrów luminescencyjnych Q,
- część elektronów z pasma przewodnictwa wychwytna jest początkowo w pułapki nieefektywne H /przejście E/, z których dopiero pod wpływem drgań termicznych przemieszczane są do centrów czynnych P z utworzeniem centrów Q /przejście T, R/.

Przejścia J' i L' obrazują fotoluminescencję szkła nienapromienionego /J' - absorpcja światła UV, L' - emisja luminescencji własnej/, a przejścia J i L - fotoluminescencję po napromienieniu szkła /J - absorpcja światła UV, L - emisja RPL/.

Dawkomierze RPL wprowadzone były do dozymetrii indywidualnej w roku 1950 przez Schulmana. Opracował on technologię otrzymywania szkieł RPL, na bazie których przygotowano około cztery miliony dawkomierzy awaryjnych do użytku dozymetrii indywidualnej marynarki wojennej Stanów Zjednoczonych [2]. Opracowane przez Schulmana detektory o wymiarach 17x17x4,7 mm i ciężarze 5,3 g przeznaczone były do pomiaru dawek ekspozycyjnych promieniowania fotonowego w zakresie od 10 do 1000 R. Wysoki bieg własny /ang. predose/ tych szkieł /ok. 40 R/ uniemożliwiał pomiary mniejszych ekspozycji. Przy ich użyciu Schulman mierzył także dawki metodą zmiany absorpcji optycznej, a przy dokładniejszych pomiarach korzystał z obydwu technik.

W latach następnych nie wiele osiągnięto w zakresie polepszania jakości szkieł RPL. Udoskonalano natomiast konstrukcję tych dawkomierzy przez wprowadzanie filtrów o wyszukanej często budowie dla wyrównania charakterystyki energetycznej i katowej. W Oak Ridge National Laboratory w USA zastosowano również w tym czasie szkła RPL w kontroli rutynowej, jako dodatkowe wkładki do pomiaru promieniowania fotonowego w zakresie dawek ekspozycyjnych powyżej 10 R.

Równoległe z tymi pracami opracowywano podobne rodzaje szkieł RPL w Szwecji, NRF, Austrii, Francji i Japonii oraz budowano różne typy awaryjnych dawkomierzy do pomiaru promieniowania fotonowego z przeznaczeniem wojskowym lub dla ludności cywilnej na wypadek wojny jądrowej.

Właściwy rozwój indywidualnej dozymetrii RPL rozpoczął się jednak dopiero z chwilą opracowania przez Yokota [3] szkieł o dużej wydajności RPL oraz

o niskiej luminescencji własnej. Jakość tych szkieł, umożliwiającą pomiary dawek już od kilkunastu mili-radów pozwoliła na rozszerzenie zakresu ich stosowania w dozymetrii awaryjnej /pomiary dawek sumarycznych w polu promieniowania mieszanego neutron-foton/. Wykorzystano je również dla celów zwykłej kontroli dawek okresowych [4,5].

Do chwili obecnej japońskie szkła i czytniki fotoluminescencyjne nie mają sobie równych na świecie i stosowane są powszechnie w różnych ośrodkach jądrowych całego świata. Są jednak drogie i wskutek tego szereg krajów prowadzi próby otrzymania ich we własnym zakresie, zwłaszcza dla celów dozymetrii awaryjnej. Detektory Yokota produkcji Toshiba o wymiarach 8x8x4,7 mm kosztują po 1,2 dolara za sztukę. Ośrodki francuskie stosują szkła własnej produkcji, ale mierzą je czytnikami produkcji Toshiba. W Polsce szkła RPL nie były dotychczas wytwarzane nawet do pomiarów dawek awaryjnych, nie stosowano także dla celów kontrolnych detektorów RPL obcych produkcji. Celem tej pracy było opracowanie dawkomiarza RPL. Nie przewidywano wykonywania szkieł we własnym zakresie w CLOR, ponieważ nie dysponowano urządzeniami do wytopu szkieł oraz nie posiadano narzędzi do obróbki mechanicznej, takiej jak: szlifowanie, cięcie i polerowanie szkła na detektory. W związku z tym opracowanie technologii wytopu szkieł wykonano w ramach współpracy z Centralnym Laboratorium Optyki .

2. MATERIAŁY I METODY

2.1. Otrzymywanie detektorów RPL

Najważniejszymi składnikami obecnie produkowanych szkieł RPL są metafosforany glinu i litu domieszkowane srebrem. Udział innych metafosforanów, takich jak sód, potas, magnez, beryl itp., oraz tlenków boru, krzemu itp., zmienia się zależnie od producenta i przeznaczenia szkła /tabela 1/.

Technologie otrzymywania szkieł nie są publikowane. Jakość szkieł, podobnie jak innych materiałów luminescencyjnych, zależy od składu procentowego i postaci chemicznej użytych substratów, ich czystości, rodzaju i czystości tygli, w jakich prowadzony jest wytop, od atmosfery wytopu i precyzji opracowanego procesu technologicznego, a głównie od sposobu domieszkowania aktywatorami odpowiedzialnymi następnie za zjawisko RPL. Forma, w jakiej zostaną one rozprzestrzenione i umiejscowione w szkle /"zamrożone"/, tworząc centra luminescencji, zależy w dużym stopniu od warunków termicznych stosowanych od chwili wprowadzenia tych atomów do wytopu. Wysoka temperatura i czas jej działania oraz szybkość wzrostu i obniżania temperatury w warunkach wytopu, odprężania szkła i jego stabilizacji wpływają na sposób wbudowywania obcych atomów. Czynniki te warunkują wydajność centrów luminescencji. Z drugiej strony, obecność innych obcych atomów - poza aktywatorami - jest bardzo szkodliwa. Takie atomy, wprowadzone w postaci zanieczyszczeń zawartych w substratach, często nie są obojętne i ich wpływ obniża wy-

dajność RPL szkła. Mogą one albo wygaszać luminescencję /zatruwacze/, lub powodować wzrost luminescencji własnej szkła, albo być przyczyną występowania obydwu zjawisk równocześnie. Zatruwacze obniżają wydajność RPL przekształcając część energii wzbudzenia w energię ciepłą. Wysoka luminescencja własna szkła, na skutek nieefektywnej emisji charakterystycznej obcego atomu, uniemożliwia pomiary małych ekspozycji, ponieważ w tym przypadku stosunek sygnału do szumu detektora jest bardzo niekorzystny.

Zabezpieczenie przed wprowadzeniem głównie tych dwóch typów zanieczyszczeń do szkła w procesie jego wytopu jest jednym z największych kłopotów produkcyjnych. Wymagania dotyczące czystości chemikaliów, atmosfery wytopu, tygli, urządzeń do mieszania czy rozdrabniania itp., są wysokie [8]. Zawartość niektórych zanieczyszczeń rzędu tysięcznej części procentu wagowego może już wywoływać znaczne zmiany w wartości luminescencji własnej i wydajności RPL szkieł.

Nie wszystkie z wymaganych warunków technologicznych mogły być w naszych warunkach spełnione. Nie dysponowano na przykład urządzeniami do wytapiania szkła w atmosferze wybranych gazów, ani do ich prowadzenia przy ciśnieniu regulowanym. Wszystkie wytopy wykonano w normalnej atmosferze powietrza. Także czystości stosowanych substratów i tygli nie zawsze były dostateczne. Na podstawie wykonanych w ramach kooperacji 46 prób wytopów opracowano technologię otrzymywania przezroczystego i pozbawionego centrów krystalizacji szkła fosforanowego domiesz-

kowanego srebrem, zawierającego w procentach wagowych: Al - 3,55; Li - 2,51; Na - 4,75; Ba - 0,5; Ag - 2,42; P - 33,82; O - 52,45. Po opanowaniu technologii wytapiania szkieł o wysokiej zawartości srebra otrzymano 3 partie szkła różniące się czystością użytych substratów i rodzajem tygli, które oznaczono symbolami "I", "II" i "III". W celu sprawdzenia powtarzalności metody otrzymywania szkła wykonano czwartą partię szkła i oznaczono ją "IV". Otrzymano także jeden wytop szkła fosforanowego domieszkowanego manganem /zamiast srebra/ przy stosowaniu tych samych warunków wytopu, jak dla szkieł domieszkowanych srebrem.

Detektory przygotowano z partii szkieł jednorodnych i przezroczystych, po wstępnej ocenie wizualnej. W tym celu szkło cięto na kostki, które szlifowano i polerowano do wymiarów 8x8x4,7 mm. Jedną z powierzchni każdego detektora o wymiarach 8x4,7 mm pozostawiano jedynie szlifowaną bez polerowania. Służy ona do ustawiania na niej detektora, ewentualnie do umieszczania na niej oznaczeń. W ten sposób pozostałe powierzchnie są mniej narażone na uszkodzenia np. na zarysowanie. Powierzchni wypolerowanych dotykano wyłącznie specjalną pincetą, której końce uchwytu detektorów pokrywano folią polietylenową.

Przed przystąpieniem do jakichkolwiek pomiarów fizyko-optycznych otrzymane po obróbce mechanicznej szkła detektory poddawano procesowi mycia. W tym celu umieszczano je w winidurowym urządzeniu do mycia szkieł, przedstawionym na rys. 2, które zanu-

rzano kolejno w klawetach napełnionych następującymi roztworami:

- a/ woda z detergentem /ok. 2 ml płynu "Ludwik" w 500 ml wody/ - moczenie przez 30 minut,
- b/ woda - płukanie pięciokrotne,
- c/ świeżo przygotowana mieszanina chromowa /nasycony roztwór wodny dwuchromianu potasowego i stężonego kwasu siarkowego w stosunku 1:1/ - moczenie przez 10 minut,
- d/ woda - płukanie dziesięciokrotne,
- e/ woda destylowana - trzykrotne płukanie,
- f/ alkohol metylowy czystości analitycznej - płukanie dwukrotne.

W czasie moczenia i płukania poruszano lekko pojemnikiem szkieł zanurzonym w kolejnych roztworach. Detektory, które w czasie używania lub przechowywania uległy zabrudzeniu czy zakurzeniu, myto ponownie. Stosowano wtedy proces mycia skrócony, obejmujący operacje ujęte w punktach a, d, e i f, przy czym czas moczenia w roztworze detergenta /a/ skracano do 10 minut.

Po ostatnim płukaniu w metanolu otwierano pojemnik, wyjmowano detektory i ustawiano je na kilka minut na bibule filtracyjnej w szalkach Petrie'go w pomieszczeniu zabezpieczonym przed zakurzeniem. Następnie ustawiano detektory na płytce platynowej /mytej jak szkła zakurzone/ i wstawiano do zimnej suszarki, którą włączano ustawiając temperaturę na 100°C. Po godzinie płytkę detektorami przenoszono do pieca silitowego o temperaturze ok. 100°C i podnoszono temperaturę do 400°C, w której trzymano

szkła przez 20 minut, a następnie przez kilka godzin w suszarce o temperaturze 80°C . Po ochłodzeniu w eksikatorze detektory umieszczano w indywidualnych przegródkach w pudełkach styropianowych i przechowywano w eksikatorze gotowe do pomiaru własności dozymetrycznych.

2.2. Stosowane metody pomiarowe

Pomiary dawek ekspozycyjnych detektorami RPL należą do pomiarów względnych i wymagają wzorcowania. Zakres pomiaru dawek, zwłaszcza blisko dolnego progu pomiarowego, i dokładność otrzymanych wyników zależą nie tylko od jakości szkła i precyzji wykonania detektorów, ale także od jakości aparatury odczytowej, tzn. od jej czułości na fotoluminescencję oraz od poziomu szumów.

Przy ocenie jakości detektorów otrzymanych z poszczególnych wytopów szkła oraz pomiarach ich własności dozymetrycznych stosowano czytnik fotoluminescencyjny produkcji japońskiej firmy Toshiba typ FGD-6. Schemat ideowy czytnika przedstawiono na rys. 3. Wszystkie pomiary wykonywano w warunkach wzorcowania przyrządu FGD-6 określonych przez firmę Toshiba, a wyniki porównywano z wynikami otrzymanymi dla mierzonych w tych samych warunkach detektorów Toshiba.

Detektory mierzono następnego dnia po napromienieniu ich lub po 15 minutach ogrzewania w temperaturze 110°C po napromienieniu, ponieważ wszystkie materiały RPL charakteryzuje mniej lub bardziej po-

wolny proces narastania efektu fotoluminescencji. Efekt narastania w zjawisku RPL obrazowane schematycznie na rys. 1: potrzeba pewnego czasu, aby elektrony wychwytywane przez pułapki nieefektywne H znalazły się w centrach luminescencyjnych P /przejście T₁ R/. Czas narastania zależy od temperatury i rodzaju materiału RPL. Dla handlowych szkieł fosforanowych domieszkowanych srebrem, przechowywanych po napromienieniu w temperaturze pokojowej, czas ten nie przekracza 1 do 2 dni /zależnie od zawartości srebra/. W praktyce proces narastania przyspiesza się przez krótkotrwałe umieszczanie detektorów po napromienieniu w temperaturze podwyższonej, najczęściej od ok. 100 do 175^oC. W badaniach własności detektorów RPL bardziej wskazane jest nie przyspieszać procesu narastania, ponieważ niedokładne zachowanie powtarzalności warunków ogrzewania powiększa błąd pomiaru dawek.

3. WYNIKI POMIARÓW

3.1. Ocena jakości i jednorodności szkieł fosforanowych domieszkowanych srebrem w czasie opracowywania technologii.

Ocenę jakości wytopionego szkła opierano na wynikach pomiarów wartości biegu własnego /suma luminescencji własnej detektora i szumu aparatury pomiarowej/ oraz sygnału detektora po otrzymaniu dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma o wartości 10 R.

Na podstawie otrzymanych wyników obliczano wydajność detektorów w stosunku do detektorów produkcji Toshiba oraz określano minimalną dawkę, jaką można oznaczać z dokładnością $\pm 10\%$. Pomiarów tych podstawowych wskaźników jakości szkła wykonywano dla dwu początkowo przygotowanych detektorów z każdej partii wytopionego szkła, którą oceniono wizualnie, jako jednorodnie przezroczystą. Wyniki pomiarów detektorów wykonanych z trzech kolejnych wytopów szkła fosforanowego domieszkowanego srebrem o różnej czystości użytych substratów zestawiono w tabeli 2.

Z danych tabeli 2 wynika, że detektory otrzymane z wytopu oznaczonego symbolem "I" nie nadają się do pomiaru dawek rzędu 10 R. Parametry detektorów wytopu "II" są już zadowalające, natomiast detektory z wytopu "III" znacznie przewyższają wymagania postawione w założeniach pracy.

W celu ustalenia zakresu rozrzutu wskazań detektorów, otrzymanych z tej samej partii wytopionego szkła, przygotowano ze szkła "II" i "III" po 20 sztuk detektorów. Posługując się tą partią detektorów badano wpływ wad wewnętrznych szkła oraz niejednorodności obróbki mechanicznej detektorów na rozrzut wartości biegów własnych i sygnałów RPL. Sprawdzano odchylenia od $3 \times 8 \times 4,7$ mm w wymiarach detektorów i różnice w ich ciężarach, porównywano jakość polerowanych powierzchni oraz jednorodność klarowania i odprężenia szkła. Wyniki pomiarów tych wskaźników jednorodności dla serii detektorów otrzymanych ze szkła "II" i "III" podano w tabelach 3 i 4. Z danych tych wynika, że:

- jakość wytopionego szkła "III" jest dobra, ale jego klarowanie i odprężenie nie jest dosta-

- tecznie dokładne,
- obróbka mechaniczna detektorów jest za mało precyzyjna.

Dla potwierdzenia, czy opracowane warunki otrzymywania szkieleł są powtarzalne oraz w jakim stopniu zmniejszy się rozrzut wskazań dokładniej wykonanych detektorów, szkło wytopiono ponownie zachowując te same warunki technologiczne, jak przy otrzymywaniu wytopu "III". Zwrócono jednak uwagę na dokładniejsze odpowietrzenie wytopu /klarowanie/, na zachowanie mniejszej tolerancji w wymiarach detektorów i lepsze polerowanie ich powierzchni. Jednorodność wytopionego szkła /"IV"/ i otrzymanej z niego serii detektorów oceniano w ten sam sposób, jak dla szkieleł z wytopu "III". Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tabeli 5.

Z porównania średnich wartości sygnałów RFL detektorów wykonanych ze szkła "III" /tabela 4/ i szkła "IV" /tabela 5/ wynika, że warunki technologiczne otrzymywania szkieleł są powtarzalne, ponieważ jakość szkła nie uległa zmianie /różnice wyników mieszczą się w granicach 7%. Zmieniły się tylko wartości rozrzutu wskazań detektorów wykonanych z tych dwu partii szkieleł na korzyść detektorów wykonanych ze szkła "IV". Mniejsze odchylenia od średniej w wartościach wskazań 20 detektorów ze szkła "IV", w porównaniu z odchyleniami otrzymanymi dla tej samej liczby detektorów wykonanych ze szkła "III" uzyskano wskutek dokładniejszego klarowania wytopu "IV" i lepszej obróbki mechanicznej wykonanych z niego detektorów.

Z analizy danych ujętych w tabelach 4 i 5 wynika także, że opracowana technologia wytupu szkielek, gwarantując dobrą czułość RPL i niski bieg własny, dopuszcza zachowanie mniej precyzyjnych warunków technologicznych, jak niezupełnie dokładne klarowanie, odprężenie, polerowanie itp., jeżeli produkowane szkło i wykonane z niego detektory mają służyć do pomiaru dawek ekspozycyjnych powyżej 10 R. Mniejsze wymagania odnośnie mechanicznej obróbki wpłyną na znaczne obniżenie kosztów ich produkcji. Jakość klarowania i odprężenia szkła ulegnie natomiast polepszeniu, gdy wytop wykonywany będzie w większej skali produkcyjnej.

3.2. Pomiar innych parametrów dozymetrycznych otrzymanych szkielek RPL

Zależność wskazań od wartości dawki oznaczano w zakresie od 1 do 1000 R promieniowania gamma /Cs-137/. Wyniki pomiarów w porównaniu do mierzo-nych w tych samych warunkach szkielek Toshiba podano w tabeli 6.

Powtarzalność wskazań przy wielokrotnym użyciu detektora sprawdzano dla 10 kolejnych napromienień dawką ekspozycyjną 10 R /Cs-137/, bez stosowania anilacji oraz z anilacją dawek pomiędzy kolejnymi napromienieniami. Odchylenie standardowe, obliczone z wyników pomiarów, wynosi $\pm 2,5\%$. Warunki anilacji są takie same jak dla szkielek produkcji Toshiba.

Wskazania detektorów o wymiarach $8 \times 8 \times 4,7$ mm są zależne od kierunku padania promieniowania gamma i od jego energii. Efektywna liczba atomowa, obli-

czona z procentowej zawartości składników szkła wynosi 15,5 [9]. Dla wyrównania charakterystyki energetycznej i kątowej należy stosować filtry.

Kinetykę narastania i zaniku RFL dla otrzymanych szkieł fosforanowych domieszkowanych srebrem, w czasie 3-dniowego przechowywania detektorów w temperaturze laboratoryjnej po napromienieniu 10 R /Cs-137/, przedstawiono na rys. 4.

W czasie pomiarów własności dozymetrycznych nie zaobserwowano zmian w zachowaniu się otrzymanych przez nas detektorów w porównaniu do mierzonych w tych samych warunkach detektorów produkcji Toshiba.

PODZIĘKOWANIE

Autorzy dziękują Panom: dr inż. J. Peńsko z Instytutu Badań Jądrowych i mgr inż. T. Musiałowiczowi z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej - za cenne uwagi w czasie opracowywania tematu; mgr inż. R. Siwickiemu za udostępnienie aparatury pomiarowej w Instytucie Badań Jądrowych oraz Centralnemu Laboratorium Optyki za życzliwą współpracę w zakresie opracowywania technologii.

LITERATURA

1. Vogel H., Becker K.: Zur Theorie der Radiophotolumineszenz in Gläsern I. Nukleonik 7, 18 /1965/.
2. Schulman J.H. i in.: Radiophotoluminescence dosimetry system of the US Navy. Nucleonics 11, 52 /1953/.

3. Yokota R., Nakajima B., Usugi Y.: Low level dose measurements with newly developed fluoroglass dosimeter and the energy dependence. *Radioisotopes, Tokyo* 10, 387 /1961/.
4. Eecker K.: Phosphatglasdosimeter für Routinedüberwachung in Kerntechnischen Anlagen. *Nukleonik* 5, 154 /1963/.
5. Maushart R., Piesch E.: A photoluminescent personnel dosimeter with spherical case for energy and direction independent dose measurements. Paper No.21 to Int. Symp. Dosimetry Irrad. Extern. Sources, Paris, 1964.
6. Ginther R.J., Schulman J.H.: New glass dosimetry is less energy dependent. *Nucleonics* 18, 92 /1960/.
7. Francois H., Bourbigot Y., Grand-Clement A.M., Portal G., Soudain G.: Etude et mise de nouveaux verres dosimètres au phosphate d'argent. Int. Congr. Dosimetry Extern. Rad., Paris, 1965.
8. Ouweltjes J.L.: Luminescence and Phosphors, *Modern Materials V 5*. Academic Press Inc., New York, 1965.
9. Spiers F.W.: Effective atomic number and energy absorption tissue. *Brit.J.Radiol.* 19, 52 /1946/.

T a b e l a 1

Skład chemiczny i podstawowe własności dozymetryczne
trzech handlowych szkieł RPL

Autor /producent/	Składniki szkła w % wagowych						Bieg własny /równoważny dawce prom. gamma w radach/	Czułość względ- na na promien. gamma	Efektywna liczba atomowa
	Ag	Al	Li	P	O	inne			
Ginther i Schulman [6] /Bausch i Lomb/	4,3	4,7	1,9	33,7	52,3	Mg 3,1	10,0	1	17,6
Yokota i inni [3] /Toshiba/	4,2	4,6	3,6	33,3	53,5	B 0,8	0,2	2,2	17,5
Francois i inni [7] /CEC/	2,4	3,5	2,5	33,8	52,5	Be 0,5 Na 4,7	0,7	1,9	15,4

T a b e l a 2

Wskaźniki jakości RPL detektorów o wymiarach 8x8x4,7 mm,
wykonanych z trzech partii szkieł różniących się czystością
użytych substratów, mierzone przyrządem FGD-6 /detektory
napromieniano promieniowaniem gamma Cs-137/

Oznaczenie wytupu	I		II		III		Toshiba
Oznaczenie detektora wykonanego z wytupu	1	2	1	2	1	2	
Względny bieg własny w działkach FGD-6	1470	1490	120	118	2,02	2,05	0,36
Względny sygnał RPL na 10 R w działkach FGD-6	nie do oznaczenia	nie do oznaczenia	3,8	3,55	5,15	5,6	9,9
Wydajność RPL w stosunku do szkieł Toshiba	nie oznaczano		śr. 0,37		śr. 0,54		1
Minimalna dawka ekspozycyjna możliwa do zmierzenia z dokładnością $\pm 10\%$	nie oznaczano		10 R		0,2 R		0,05 R

T a b e l a 3

Ocena jednorodności serii detektorów
otrzymanych ze szkła "II"

Liczba porównywanych detektorów	Defekty wizualne i mikroskopowe	Odpreżenie szkła	Wartość względna biegu własnego	Wartość względna sygnału RPL na 1 R	Wydajność RPL w stosunku do szkła Toshi-ba, [%]
20 sztuk	większość detektorów z pęcherzykami powietrza i źle wypolerowanymi powierzchniami	niedostatecznie dokładne	średnia 112 odchylenie maksymalne +13,5 - 9,0	średnia 2,2 odchylenie maksymalne +2,8 -2,2	35

T a b e l a 4

Ocena jednorodności serii detektorów
otrzymanych ze szkła "III"

Liczba porównywanych detektorów	Czynniki technologiczne				Podstawowe parametry dozometr.		
	Defekty wizualne i mikroskopowe	Odprowadzenie szkła	Odchylenie w wymiarach od: 3x8x4,7mm	Ciepota [g]	Względny bieg własny w działkach FGD-6	Względny sygnał RPL na 1 R w działkach FGD-6	Wydażność RPL w stosunku do detektorów Toshiba [%]
20 sztuk	większość detektorów z pęcherzykami powietrza i źle wypolerowanymi powierzchniami	niedostatecznie dokładne	średnie <u>+0,038</u> <u>-0,115</u> maksymalne od średniej +0,14 -0,30	średni <u>0,7516</u> odchylenia maks. +0,0196 -0,0208 stand. +0,0105	średni <u>2,17</u> odchylenia maksymalne + 1,38 - 0,47 standardowe <u>±0,42</u>	średni <u>0,57</u> odchylenia maksymalne +0,058 -0,085 standardowe <u>±0,038</u>	57

T a b e l a 5

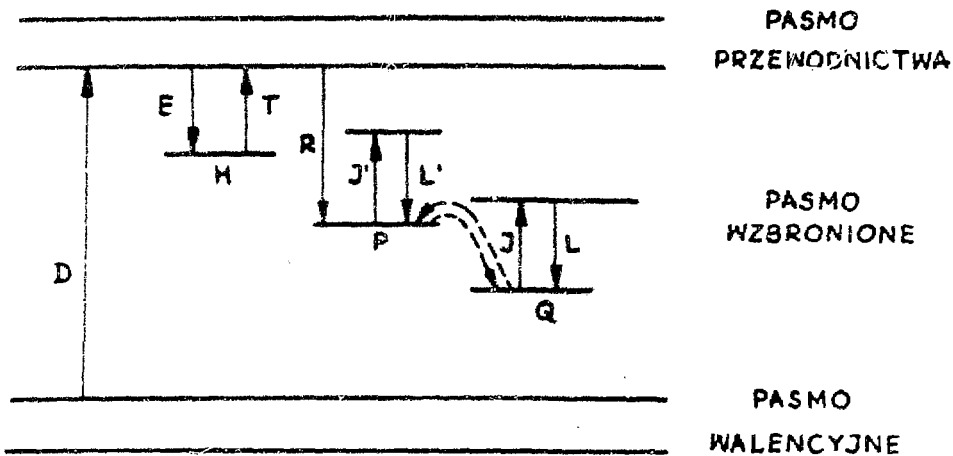
Ocena jednorodności serii detektorów
otrzymanych ze szkła "IV"

Liczba porównywanych detektorów	Czynniki technologiczne				Podstawowe parametry dozometr.		
	Defekty wizualne i mikroskopowe	Odprężenie szkła	Odchylenia w wymiarach od 8x8x4,7mm	Ciężar [g]	Względny bieg własny w działkach FGD-6	Względny sygnał RFL na 1R w działkach RD-6	Wyłączność RPL w stosunku do detektorów Toshiba [g]
20 sztuk	odpowiedzenie dobre, nieliczne skazy na powierzchni detektorów	niedo- sta- tecz- nie dokła- dne	Średnie: +0,040 <u>-0,064</u> maksymal- ne od średniej +0,11 -0,16	Średni <u>0,7544</u> odchy- lenia: maks. +0,0082 -0,0108 stand. ±0,0053	średni: <u>2,05</u> odchyle- nia: maksym. +0,15 -0,20 standard. ±0,095	średni: <u>0,53</u> odchyle- nia: maksymal. +0,06 -0,04 standard. ±0,02	53

T a b e l a 6

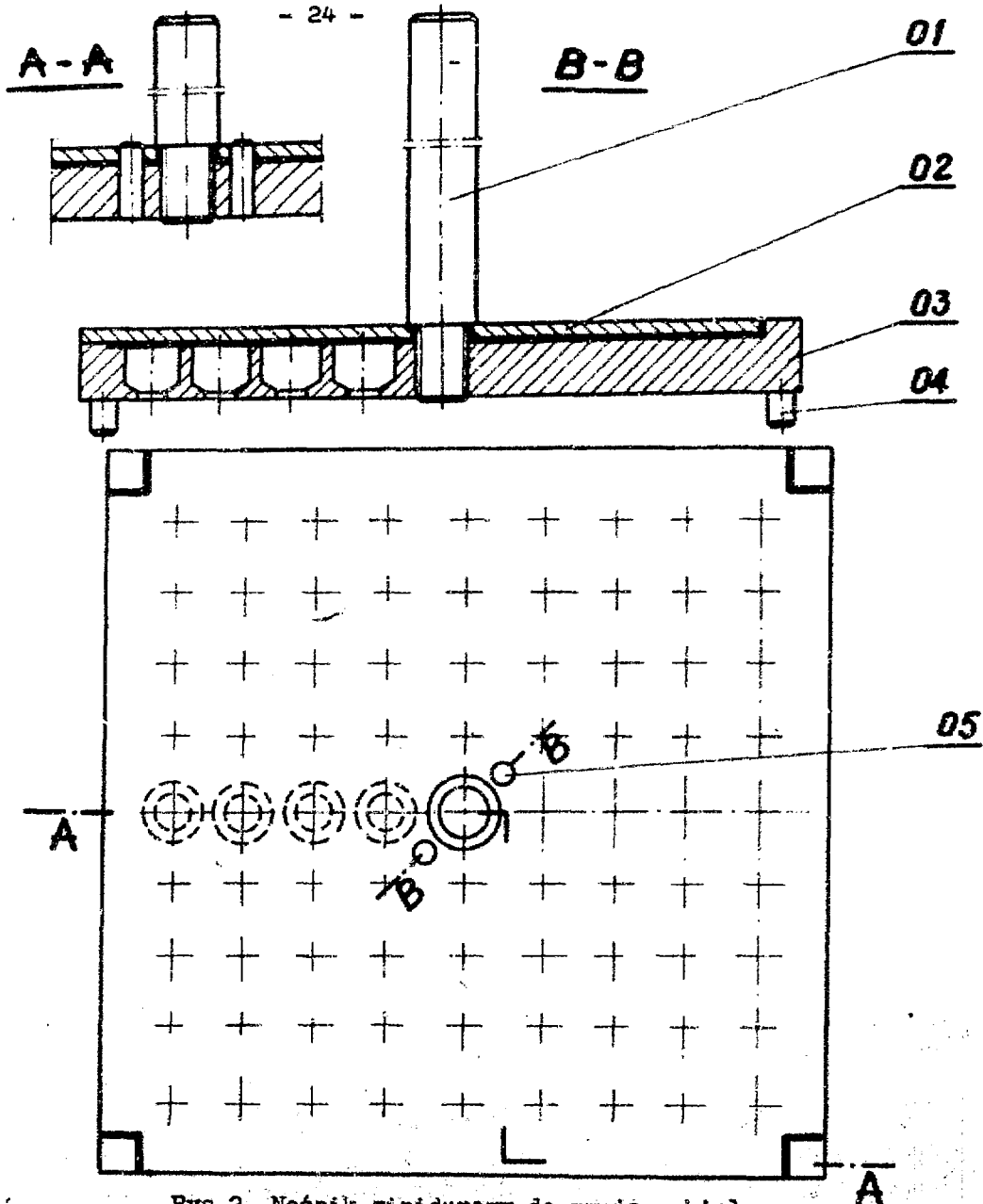
Sygnal RPL detektorów dla różnych wartości dawek ekspozycyjnych promieniowania gamma /Cs-137/, mierzony czytnikiem FGD-6 następnego dnia po napromienieniu

Dawka ekspozycyjna, [R]	1	10	100	500	1000
Wydajność RPL na 1 R szkieleł Toshiba	0,960	1,070	1,040	1,030	0,980
Wydajność RPL na 1 R szkieleł z wytopy "III"	0,565	0,550	0,590	0,545	0,570

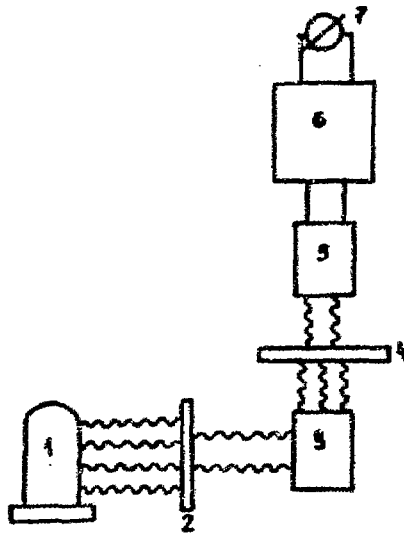


Rys.1. Mechanizm zjawisk RPL przebiegających w szklach fosforanowych z aktywatorem srebra na uproszczonym modelu pasmowym:

- D - pierwsze przejście elektronów po napromienieniu szkła promieniowaniem jonizującym,
- E - wychwytywanie części elektronów przez nieefektywne pułapki pośrednie H,
- T - powrót elektronów do pasma przewodnictwa pod wpływem drgań termicznych,
- R - wychwytywanie elektronów przez dodatnio naładowane pojedyncze lub zasocjowane atomy srebra /centra czynne P/,
- Q - utworzone nowe centra luminescencji,
- J' - absorpcja UV przez szkło nienapromienione promieniowaniem jonizującym,
- L' - emisja fotoluminescencji własnej szkła /bez dawki/,
- J - absorpcja UV po napromienieniu szkła promieniowaniem jonizującym,
- L - emisja fotoluminescencji po uprzednim napromienieniu szkła promieniowaniem jonizującym /sygnał RPL/.

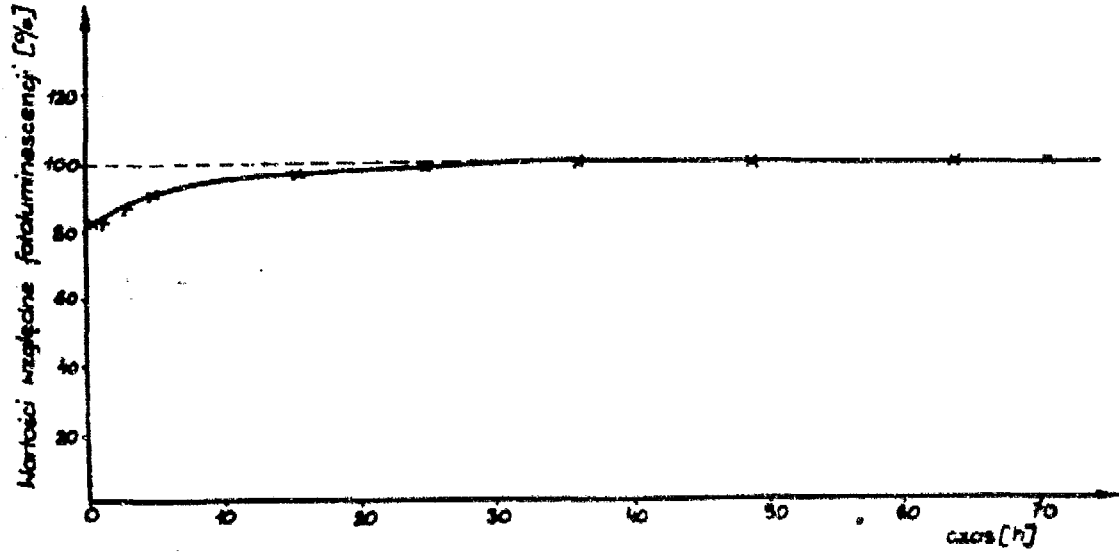


Rys.2. Nośnik winidurowy do mycia szkieł
w skali 1:1:
01 - uchwyt, 02 - przykrywa, 03 - pojemnik
z otworami na szkła, 04 - nóżki, 05 - wspor-
niki przykrywy



Rys. 3. Uproszczony schemat czytnika termoluminescencyjnego:

- 1 - źródło światła UV, 2 - filtr nadfioletu, 3 - detektor RPL,
- 4 - filtr pomarańczowo-czerwony,
- 5 - fotopowielacz, 6 - wzmacniacz,
- 7 - wskaźnik natężenia RPL.



Rys. 4. Kinetyka narastania i zaniku efektu RPL w warunkach przechowywania detektorów w temperaturze laboratorium po napromienieniu ich 10 R /Cs-137/.