



## Defekty radiacyjne w monokryształach i szklach $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$

ŚLAWOMIR MAKSYMILIAN KACZMAREK\*, ANDRZEJ MAJCHROWSKI\*\*,  
JAROSŁAW KISIELEWSKI\*\*\*,  
MIROŚLAW KWAŚNY\*, TERESA WRÓŃSKA\*\*\*\*

\* Instytut Optoelektroniki, WAT, Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

\*\* Instytut Fizyki, WAT, Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

\*\*\* Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Wólczyńska 133,  
01-919 Warszawa

\*\*\*\* Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Dorodna 16, 03-195 Warszawa

**Streszczenie.** W pracy określono poziom zdefektowania monokryształów oraz szkła  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  przed i po procesie naświetlenia kwantami  $\gamma$  dawkami od  $10^4$  do  $10^6$  Gy. Stwierdzono obniżenie absorpcji monokryształów poddanych obróbce radiacyjnej dla określonej wartości dawki ( $10^6$  Gy), szczególnie w obszarze widmowym w pobliżu krawędzi absorpcji (<190 nm). Defektami powodującymi podwyższoną absorpcję wydają się być głównie (resztkowe) naprężenia termiczne.

**Słowa kluczowe:** wzrost kryształów, dodatkowa absorpcja, naświetlenie kwantami gamma, wygrzewanie, naprężenia termiczne

### 1. Wstęp

Czteroboran litu ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) jest materiałem piezoelektrycznym, stosowanym jako podłoże na filtry dla potrzeb telewizji kolorowej i inne elementy z akustycznymi falami powierzchniowymi z uwagi na niskie wartości stałych dielektrycznych ( $\epsilon_{11}=8.662$ ,  $\epsilon_{33}=7.893$ ), wysokie (i stabilne temperaturowo, w przeciwieństwie do  $\text{LiNbO}_3$ ) wartości prędkości propagacji fal powierzchniowych

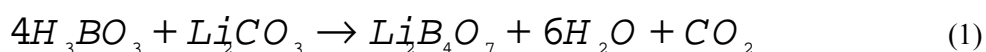
(3056-4230 m/s) i stosunkowo wysokie ( w przeciwieństwie do  $\alpha$ -kwarcu) wartości współczynników sprzężenia elektromechanicznego ( $K^2 \sim 1.06\%$  - 10 razy wyższy aniżeli dla  $\alpha$ -kwarcu) [1-3].  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  dla pewnych domieszek (np. Mn) wydaje się być bardzo dobrym materiałem termoluminescencyjnym, a dla innych (np. Be, Yb) dobrym detektorem promieniowania jonizującego [4-5].

Najczęściej stosowaną metodą jego otrzymywania w postaci monokrystalicznej jest metoda Czochralskiego. Przy pomocy tej metody uzyskano monokryształy o symetrii tetragonalnej, nie spękane, o średnicach do 3-cali [6]. Stwierdzono jednak, że metoda ta często prowadzi (szczególnie w chwili oderwania kryształu od roztopu na końcu procesu krystalizacji) do powstania w tym kryształach silnych resztkowych naprężeń termicznych [7]. Poza postacią monokrystaliczną  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  wykorzystuje się również w postaci szkła. W obu postaciach wadą tych kryształów jest obecność w nich naprężeń. Dodatkowymi źródłami naprężeń mogą być również wytrącenia innych faz, struktura komórkowa i inne.

Usunięcie resztkowych naprężeń termicznych i in. poprzez wygrzewanie kryształu z ustalonym programem zmiany temperatury w czasie kończy się często jego pękaniem. Celem pracy jest określenie poziomu zdefektowania kryształu  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (w postaci monokryształu i szkła) i zbadanie możliwości jego radiacyjnego odprężania.

## 2. Warunki wzrostu

Monokryształy czteroboranu litu ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) wyciągano metodą Czochralskiego w kierunku krystalograficznym [110] (w przypadku monokryształów otrzymanych w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych - ITME) oraz w kierunku [001] (w przypadku monokryształów otrzymanych w Instytucie Fizyki WAT). Jako materiały wyjściowe do krystalizacji wykorzystano kwas borowy,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  i węglan litu  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , oba związki o czystości 4N. Syntezę prowadzono w tyglu platynowym o średnicy 73 mm i wysokości 70 mm, ogrzewanym indukcyjnie w aparaturze do krystalizacji według reakcji:



W przypadku monokryształów otrzymanych w ITME krystalizację prowadzono dwoma etapami [7]. Jako materiał wysokiej czystości do krystalizacji w drugim etapie wykorzystywano popękane monokryształy czteroboranu litu otrzymane wcześniej. W przypadku monokryształów otrzymanych w IF WAT zarodki kryształów otrzymano na drucie platynowym [8]. Selekcję zarodków, z uwagi na obecność w kryształach obszarów o orientacji różnej o  $180^\circ$  od zadanej, prowadzono stosując trawienie i szacowanie ilości jamek trawienia.

W obu przypadkach prędkość obrotowa tygla wynosiła około 5 rpm, zaś prędkość wyciągania około 0.5 mm/h. Osiowy gradient temperatury w pobliżu powierzchni rozdziału faz musiał być utrzymywany większym od 200 K/cm, gdyż dla mniejszych wartości tego gradientu obserwowano powstawanie szkła. Otrzymano nie splekane monokryształy o średnicy około 20 mm, o prawidłowych, prostych rysach wzrostu.

Syntezę szkła prowadzono z tych samych co wyżej materiałów w tyglu platynowym, w powietrzu. Z uwagi na straty  $\text{B}_2\text{O}_3$  w wyniku parowania, do kompozycji wyjściowej dodawano 1 mol% nadmiar  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . Po reakcji materiałów wyjściowych w temperaturze  $950^\circ\text{C}$  otrzymany związek podgrzewano do  $1150^\circ\text{C}$  aby usunąć pozostałą wodę oraz dwutlenek węgla. Po szybkim schłodzeniu poniżej  $550^\circ\text{C}$  roztop utworzył szkło, które nie wykazywało tendencji do krystalizacji. Dalsze wygrzewanie otrzymanego szkła w temperaturach wyższych od  $600^\circ\text{C}$  prowadzi do jego krystalizacji i następnie do powstania materiału polikrystalicznego.

### 3. Metodyka badań

W celu zbadania defektów w kryształach  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , w kierunku wyciągania (próbki LBO – ITME oraz LBOK1 – IF WAT) oraz w kierunku prostopadłym do kierunku wyciągania (próbka LBOK2 – IF WAT) dla monokryształów oraz w kierunku dowolnym dla szkła (próbka LBOS – czyste szkło oraz próbki szkła domieszkowanego Be, Yb (próbki 7T i 8T), Yb (próbka X/T) oraz Er i Cr) wycinano z nich płasko-równoległe płytki. Płytki obustronnie polerowano i poddawano badaniom mikroskopowym na mikroskopie polaryzacyjnym i konoskopie oraz pomiarom transmisji w temperaturze pokojowej przy pomocy spektrofotometrów LAMBDA-2 PERKIN-ELMER w zakresie 200-1100 nm oraz FTIR PERKIN-ELMER w zakresie 1400-25000 nm. Transmisję tych płytek mierzono również po ich naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawkami od  $10^4$  do  $10^6$  Gy w komorze jonizacyjnej oraz po wygrzaniu próbek w temperaturze  $450^\circ\text{C}$  w powietrzu przez okres 3 godzin. Zmianę absorpcji liczone zgodnie z zależnością:

$$\Delta K = \frac{1}{d} \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (2)$$

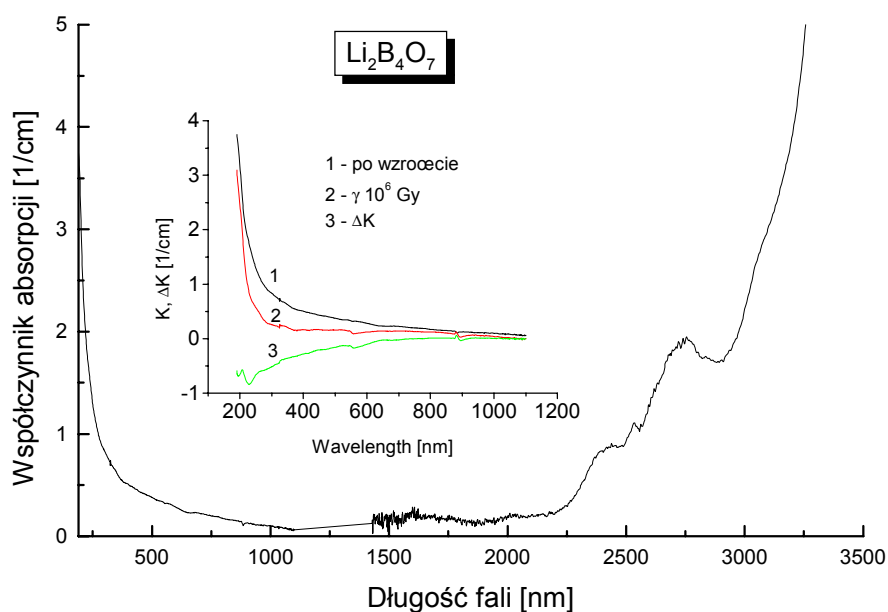
gdzie  $K$  – współczynnik absorpcji,  $d$  - grubość próbki,  $T_1$  i  $T_2$  transmisje próbki przed i po naświetleniu, odpowiednio.

Mierzono również radioluminescencję badanych kryształów w temperaturze pokojowej w zakresie widmowym 200-850 nm przy pomocy urządzenia DRON (pobudzenie promieniowaniem X, 35 kV/25 mA) i spektrografu ARC SpectraPro-

500i (siatka HOL-UV 1200 rys/mm oraz siatka rozjaśniona dla 500 nm, 1200 rys/mm, grubość rys 0.5 mm).

#### 4. Wyniki badań

Badania mikroskopowe monokryształów otrzymanych w ITME ujawniły liczne drobne pęcherze w objętości kryształów. Otrzymane kryształy nie posiadały rdzenia. Za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego oraz konoskopu optycznego stwierdzono, że jakość optyczna kryształów jest zadowalająca (kontrast od 80 do 185, w zależności od miejsca w kryształach).



Rys. 1. Absorpcja monokryształu czteroboranu litu (LBO) (Rys. 1a, Rys 1b krzywa 1 - monokryształ badany zaraz po wzroście oraz Rys. 1b, krzywai 2 – monokryształ badany po naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $10^6$  Gy) oraz dodatkowa absorpcja (Rys. 1b, krzywa 3) po naświetlaniu kwantami  $\gamma$  dawką  $10^6$  Gy

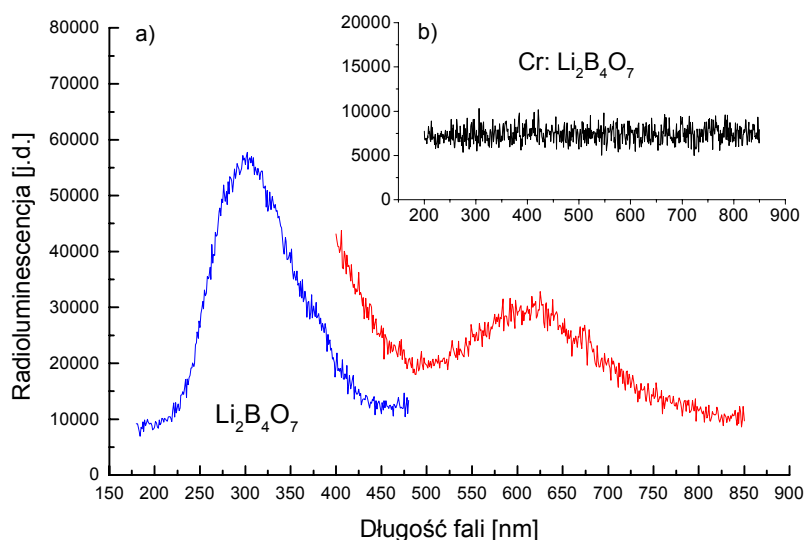
Gęstość dyslokacji, mierzona przy pomocy szacowania ilości jamek trawienia, wynosiła  $9 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-2}$ .

Pomiar absorpcji wykazał jej zwiększoną wartość w pobliżu krawędzi absorpcji ( $<190 \text{ nm}$ ). Rysunek 1a pokazuje absorpcję monokryształu czteroboranu litu w zakresie widmowym 190-3500 nm. Jak widać krótkofalowa krawędź

absorpcji znajduje się poniżej zakresu pomiarowego, zaś absorpcja sieciowa zaczyna się od około 3300nm.

Rysunek 1b pokazuje wykresy absorpcji przed (krzywa 1) i po naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $10^6$  Gy (krzywa 2) oraz wykres dodatkowej absorpcji po tym naświetleniu (krzywa 3). Jak widać dodatkowa absorpcja (krzywa 3) jest ujemna w obszarze widmowym UV-VIS, co oznacza rozjaśnienie kryształu w wyniku naświetlania. W efekcie absorpcja po naświetleniu (krzywa 2) jest mniejsza aniżeli w kryształach po wzroście (krzywa 1). Może to świadczyć o zajściu w tym kryształach zjawiska radiacyjnego odprężania. Kryształ został w czasie naświetlania nagrany i obecne w nim resztkowe naprężenia termiczne uległy relaksacji.

Rysunek 2 pokazuje widma radioluminescencji monokryształu czteroboranu litu (LBO) (a) oraz szkła boranowego (LBOS) (b) uzyskane przy pomocy dwóch rodzajów siatek dyfrakcyjnych (w dwóch przekrywających się obszarach widmowych).

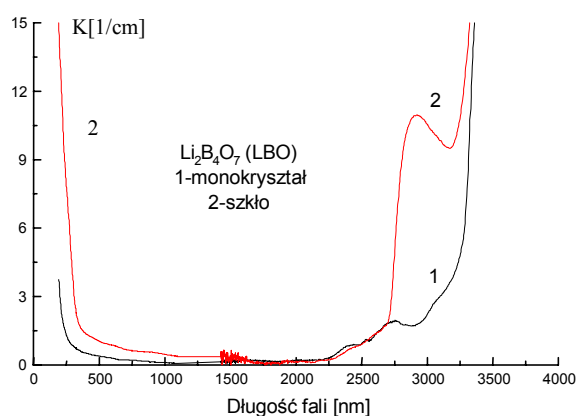


Rys. 2 Widmo radioluminescencji monokryształu  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (LBO) (a) oraz szkła boranowego domieszkowanego Cr (b) w temperaturze pokojowej w zakresie widmowym 180-850 nm

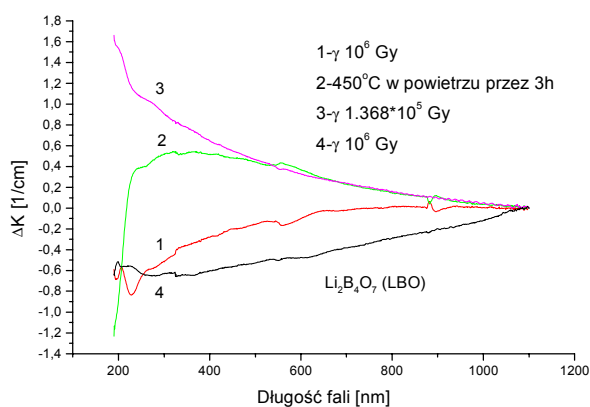
W przypadku monokryształu (Rys. 2a, widoczne dla około 310 nm pasmo emisyjne jest prawdopodobnie pochodzenia ekscytonowego. Pasma z maksimum dla około 620 nm jest widmem 2-go rzędu. Tak więc w zakresie 180-850 nm nie widać żadnej emisji pochodzenia domieszkowego. W widmie radioluminescencji szkła boranowego domieszkowanego Cr (rys. 2b), w przeciwieństwie do

monokryształu, nie widać pasma emisji pochodzenia ekscytonowego. W przypadku szkła boranowego domieszkowanego Er, Yb oraz Be oraz Yb, również nie widać w obszarze 180-850 nm żadnej emisji pochodzenia domieszkowego (obraz radioluminescencji identyczny jak ten na rysunku 2b dla szkła boranowego domieszkowanego Cr).

Na rysunku 3 porównano absorpcję monokryształu (LBO) oraz szkła (LBOS)  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  w zakresie widmowym 190-3500 nm. Widać, że absorpcja szkła jest nieco większa od absorpcji monokryształu w obszarach krótko i długofalowym. Ponadto krawędź długofalowa dla szkła wykazuje obecność silnego defektu.

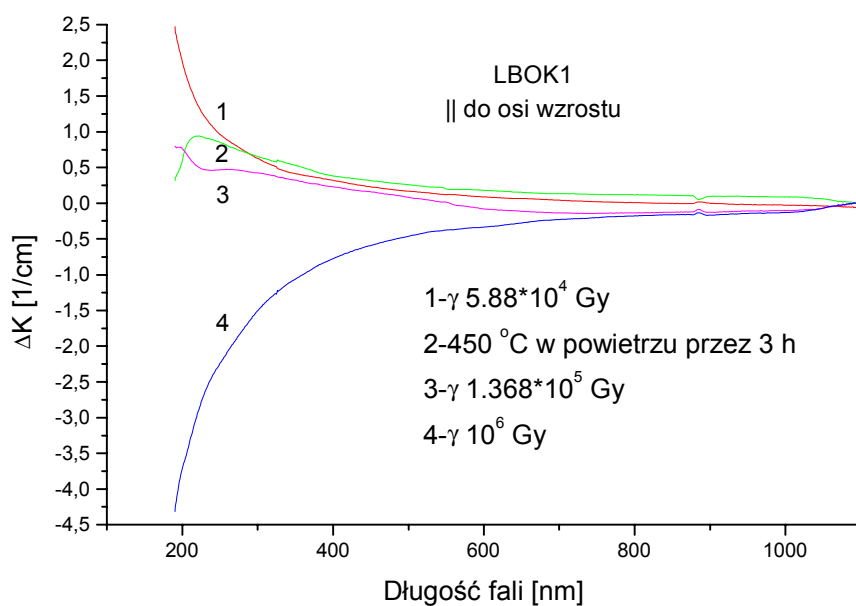


Rys. 3. Widmo absorpcji ( $K$ ) monokryształu  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (LBO) - (1) w porównaniu ze szkłem (LBOS) - (2)



Rys. 4. Dodatkowa absorpcja w monokryształach LBO po kolejnym: naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $10^6$  Gy (1), wygrzaniu w temperaturze  $450^\circ\text{C}$  przez 3 godziny w powietrzu, naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $1.368 \cdot 10^5$  Gy (3) oraz ponownym naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $10^6$  Gy (4)

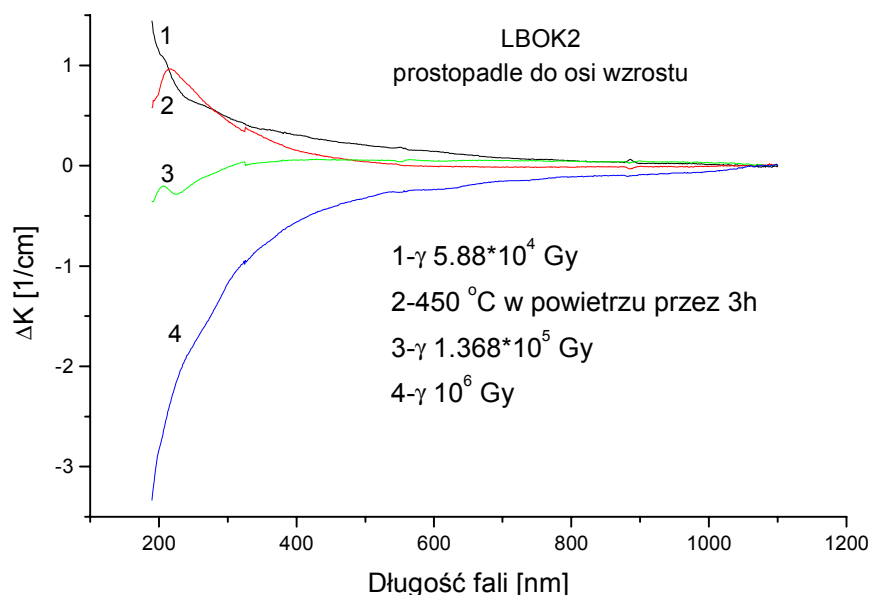
W celu określenia wpływu dawki promieniowania gamma na efekt obserwowany na rysunku 1 przeprowadzono wygrzanie uprzednio naświetlonego kwantami gamma kryształu (LBO) w temperaturze  $450^\circ\text{C}$  w powietrzu przez okres 3 godzin, a następnie kolejne naświetlenia dawkami  $1.368 \cdot 10^5$  Gy oraz ponownie  $10^6$  Gy. Zmiany absorpcji monokryształu LBO po tych oddziaływaniach przedstawiono na rysunku 4. Widać, że wygrzewanie w temperaturze  $450^\circ\text{C}$  (krzywe 1 i 2) prawie całkowicie niweluje zmiany absorpcji kryształu LBO po pierwszym naświetleniu. Tylko w obszarze krótkofalowym widoczne są istotne różnice. Następne naświetlenie (dawką  $1.368 \cdot 10^5$  Gy) powoduje wzrost absorpcji kryształu, widoczny w szerokim zakresie długości fal w postaci rozciągniętego widma. Trudno tu mówić o powstających po naświetlaniu konkretnych centrach barwnych (brak wyraźnych ekstremów). Dalszy wzrost dawki (do  $10^6$  Gy) kwantów  $\gamma$  prowadzi do odtworzenia (jakościowego) widma absorpcji kryształu LBO zarejestrowanego po pierwszym naświetlaniu (też dawką  $10^6$  Gy). Tak więc widać wyraźnie, że efekt rozjaśnienia kryształu LBO po naświetlaniu kwantami  $\gamma$  zależy od wartości ich dawki. Ponadto, minimalna wartość dodatkowej absorpcji dla monokryształu LBO otrzymanego w ITME wynosi około  $-0.8 \text{ cm}^{-1}$ .



Rys. 5. Dodatkowa absorpcja w monokryształach LBOK1 po kolejnych oddziaływaniach: naświetlaniu kwantami  $\gamma$  dawką  $5.88 \cdot 10^4$  Gy (1), wygrzaniu w  $450^\circ\text{C}$  przez 3 godziny w powietrzu (2), naświetlaniu kwantami  $\gamma$  dawką  $1.368 \cdot 10^5$  Gy oraz dawką  $10^6$  Gy

Podobne badania przeprowadzono dla monokryształów i szkła otrzymanych w IF WAT. Rysunek 5 ilustruje zmiany absorpcji monokryształu LBOK1 po kolejnych oddziaływaniach: naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $5.88 \cdot 10^4$  Gy (1), wygrzaniu w  $450^\circ\text{C}$  przez 3 godziny w powietrzu (2), naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $1.368 \cdot 10^5$  Gy oraz dawką  $10^6$  Gy.

Jak widać, monokryształy otrzymane w IF WAT i cięte do badań wzdłuż osi wzrostu [001], również wykazują zależność efektu rozjaśnienia, widocznego na rysunku 1 dla monokryształu LBO (ITME) od zastosowanej dawki kwantów  $\gamma$ . Zastosowana dawka rzędu  $2 \cdot 10^5$  Gy jest za niską, aby uzyskać wspomniany wyżej efekt rozjaśnienia kryształu. Dopiero dawka  $10^6$  Gy jest do tego celu wystarczająca. W porównaniu z monokryształem LBO (ITME), monokryształem LBOK1 (IF WAT) wykazuje mniejszą minimalną wartość dodatkowej absorpcji ( $-4.5 \text{ cm}^{-1}$ ) ponadto wygrzewanie w powietrzu w temperaturze  $450^\circ\text{C}$  prowadzi do powstania nowych defektów (krzywa 2) z centrum barwnym mającym maksimum dla długości fali  $\lambda=220 \text{ nm}$ .



Rys. 6. Dodatkowa absorpcja w monokryształe LBOK2 po kolejnych oddziaływaniach: naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $5.88 \cdot 10^4$  Gy (1), wygrzaniu w  $450^\circ\text{C}$  przez 3 godziny w powietrzu (2), naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $1.368 \cdot 10^5$  Gy oraz dawką  $10^6$  Gy

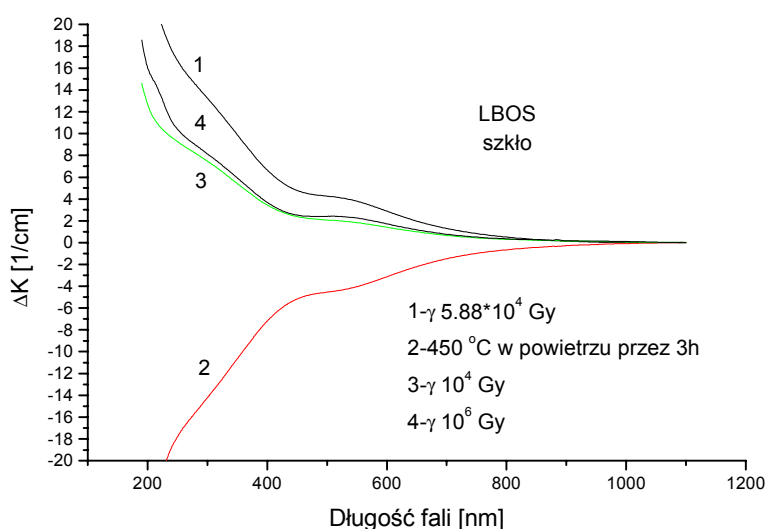
Zmiany absorpcji monokryształu LBOK2 (cięty prostopadle do kierunku [001]), poddany identycznym oddziaływaniom zewnętrznym co LBOK1, pokazano na rysunku 6. Tutaj również obserwujemy zależność wspomnianego



efektu rozjaśnienia od dawki kwantów  $\gamma$ , przy czym ujemną wartość dodatkowej absorpcji (efektywne rozjaśnienie) obserwuje się dla tego monokryształu dla mniejszej dawki kwantów  $\gamma$  (już dla około  $2 \cdot 10^5$  Gy). Minimalna wartość dodatkowej absorpcji ( $3.5 \text{ cm}^{-1}$ ) również różni się od wartości otrzymanych dla monokryształów LBO oraz LBOK1. Wygrzewanie prowadzi również do powstania nowych defektów (krzywa 2) z podobnym jak dla kryształu LBOK1 centrum barwnym.

Tak więc, z przeprowadzonych powyżej badań można wyciągnąć następujące wnioski:

Kwanty gamma, w zależności od wielkości dawki i orientacji monokryształu, zmieniają wartość absorpcji monokryształów  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  na tyle, że obserwujemy rozjaśnienie tych kryształów (obniżenie wartości absorpcji) w obszarze widmowym 190-1100 nm. Rozjaśnienie to jest większe dla krótszych długości fali.



Rys. 7. Dodatkowa absorpcja w szkle boranowym LBOS po kolejnych oddziaływaniach: naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $5.88 \cdot 10^4$  Gy (1), wygrzaniu w  $450^\circ\text{C}$  przez 3 godziny w powietrzu (2), naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $1 \cdot 10^4$  Gy oraz dawką  $10^6$  Gy

Co się dzieje z absorpcją szkła po podobnych oddziaływaniach zewnętrznych pól radiacyjnego i termicznego? Rysunek 7 przedstawia zmiany absorpcji w szkle boranowym (LBOS) po kolejnych procesach: naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $5.88 \cdot 10^4$  Gy (1), wygrzaniu w  $450^\circ\text{C}$  przez 3 godziny w powietrzu (2), naświetleniu kwantami  $\gamma$  dawką  $1 \cdot 10^4$  Gy oraz dawką  $10^6$  Gy.

Widać, że tym razem wygrzewanie w temperaturze  $450^\circ\text{C}$  przez 3 godziny w powietrzu całkowicie eliminuje zmiany absorpcji wprowadzone przez uprzednie

naświetlanie kwantami  $\gamma$ . W zależności od dawki kwantów  $\gamma$  zaś, obserwujemy odpowiedni przyrost dodatkowej absorpcji. W widmie dodatkowej absorpcji po naświetleniu kwantami  $\gamma$  można wyraźnie rozróżnić trzy centra barwne: dla 220, 320 oraz 530 nm. To ostatnie odpowiada za zabarwienie szkła na ciemny kolor. Mniejsza wartość dodatkowej absorpcji obserwowana po naświetleniu szkła LBOS dawką  $10^6$  Gy w porównaniu do poprzedniej dawki wynika z konieczności polerowania tego szkła po tak dużej dawce kwantów  $\gamma$  w celu uzyskania powierzchni o jakości optycznej niezbędnej do pomiarów transmisji (po naświetlaniu powierzchnia była matowa). Ponadto widać, że dla szkła wartość dodatkowej absorpcji jest znakomicie większa aniżeli dla monokryształu ( $30 \text{ cm}^{-1}$ ).

Tak więc w przypadku szkła, przeprowadzone badania dodatkowej absorpcji po naświetlaniach kwantami  $\gamma$  i wygrzewaniu, świadczą o wprowadzaniu defektów (centra barwne) poprzez naświetlanie i ich eliminacji poprzez wygrzewanie. Nie obserwuje się żadnego efektu rozjaśnienia kryształu po naświetleniu go kwantami  $\gamma$ , jak miało to miejsce w przypadku monokryształu – niezależnie od jego orientacji i miejsca (warunków) otrzymania a także dawki kwantów  $\gamma$ .

## 5. Dyskusja i wnioski

Powodem występowania obserwowanych optycznie defektów w monokryształach czteroboranu litu są wahania temperatury na froncie krystalizacji wywołane niewielkimi zmianami poziomu mocy generatora. Krytycznym momentem dla jakości otrzymanego metodą Czochralskiego kryształu jest moment zakończenia krystalizacji i oderwania monokryształu od roztopu. Po oderwaniu kryształu od roztopu naprężenia termiczne wznoszą się w nim blisko siedmiokrotnie [7]. Potem ulegają relaksacji, ale dalej utrzymują się na widocznym optycznie (patrz rysunek 1 i 3) poziomie. Jak widać z rysunku 1 obecność naprężeń prowadzi do wzrostu absorpcji kryształu, szczególnie w pobliżu krawędzi absorpcji.

Naświetlanie monokryształu kwantami gamma powoduje radiacyjne odprężanie kryształu, co prowadzi do zauważalnego spadku jego absorpcji. Należy przypuszczać, że naświetlanie kwantami  $\gamma$  prowadzi do wybijania w całej objętości kryształu elektronów Comptonowskich, które w różny sposób przekazując energię kinetyczną sieci, prowadzą do nagrzewania się kryształu i relaksacji występujących w nim naprężeń.

Jak wykazały badania radioluminescencji (Rys. 2), w monokryształach czteroboranu litu nie ma domieszek aktywnych optycznie, dających emisję w obszarze widmowym UV-VIS. Widma absorpcji, jak również dodatkowej absorpcji nie wykazują również obecności w tym kryształach wakansów tlenowych, ani innych możliwych centrów barwnych. Tak więc główną przyczyną wyższej absorpcji otrzymanych kryształów w obszarze UV-VIS wydaje się być obecność w

nich resztkowych naprężeń termicznych, które można zdjąć wygrzewając kryształ lub naświetlając go kwantami  $\gamma$ . Biorąc pod uwagę zmiany absorpcji obserwowane dla monokryształów LBOK1 i LBOK2 po ich wygrzewaniu (wzrost absorpcji), ten drugi sposób wydaje się być bardziej efektywny.

Ilość defektów punktowych (jeżeli przyjąć, że naświetlanie kwantami  $\gamma$  dawką  $10^5$  Gy prowadzi głównie do przeładowania istniejących defektów punktowych) w monokryształach LBO, LBOK1 i LBOK2, widoczna choćby z wartości dodatkowej absorpcji tych kryształów po naświetlaniach kwantami gamma (LBO – krzywa 3 rys. 4, LBOK1 – krzywa 1 rys. 5 oraz LBOK2 – krzywa rys. 6) jest podobna (wartość  $\Delta K$   $2 \text{ cm}^{-1}$ ). Jednak wzrost absorpcji monokryształów LBOK1 i LBOK2 po ich wygrzaniu (wprowadzenie nowych defektów, być może dodatkowych naprężeń) sugeruje, że monokryształy te mają niższy poziom naprężeń od monokryształu LBO. Być może warunki wzrostu tych monokryształów zostały dobrane korzystniej z punktu widzenia naprężeń. Jednak dla wszystkich badanych monokryształów korzystne wydaje się być ich naświetlanie kwantami gamma dawką  $10^6$  Gy. Jak widać to z rysunków 1, 4, 5 i 6 monokryształy te po procesie naświetlenia w/w dawką ulegają istotnemu rozjaśnieniu w obszarze widmowym 190-1100 nm. Ich jakość optyczna ulega zatem wyraźnej poprawie. Trwałość tych zmian zależy od temperatury. Podgrzanie kryształu do  $450^\circ\text{C}$  i utrzymywanie go w tej temperaturze przez okres 3 godzin prowadzi do odwrócenia zmian poradiacyjnych (kryształ ulega zaciemnieniu).

Tak więc w przypadku monokryształów (szkła wykazują proporcjonalny do dawki kwantów  $\gamma$  wzrost absorpcji po naświetleniu) skutecznym sposobem poprawy ich jakości optycznej (likwidacja naprężeń) wydaje się być naświetlanie kwantami gamma dawką  $10^6$  Gy. W przypadku szkieł zdecydowanie bardziej korzystne jest wygrzewanie w powietrzu.

## 6. Podziękowania

Autorzy dziękują panu mgr W. Drozdowskiemu z Instytutu Fizyki UMK w Toruniu za przeprowadzenie pomiarów radioluminescencji monokryształów i szkieł.

## 7. Literatura

1. J.G. Gualtieri, J.A. Kosiński, A. Ballato: Piezoelectric materials for acoustic wave applications, IEEE Trans. on Ultr., Ferr. and Freq. Control, 41 (1994) 53-58
2. Y. Anzai, K. Terashima, A. Kimura, „Physical properties of molten lithium tetraborate”, J. Cryst. Growth, 134 (1993) 235-239
3. J.Filipiak, A.Majchrowski i T.Lukasiewicz, „Lithium tetraborate single crystals as a substrate for SAW devices”, Archives of Acoustics, 19, 1, (1994), 131-135
4. A. Majchrowski, M. Małecki, J. Żmija, S. Warkocki, W. Warkocki, „Dosimetric properties of activated lithium tetraborate, Proc. SPIE Vol.1845, (1993)182-185

5. S. Warkocki, A. Korman, J. Żmija, S. Kłosowicz i A. Majchrowski, „Activated lithium tetraborate and calcium sulphate in radiation dosimetry”, Proc. SPIE Vol. 3179, (1997), 260-262
6. R. Konetsu, T. Sugihara, S. Uda, „Growth of crack-free 3-inch - diameter lithium tetraborate single crystals by Czochralski method”, Jpn. Appl. Phys. 33 (1994) 5533-5535
7. J. Kisielewski, M. Świrkowicz, Z. Gałązka, W. Szyrski, „Wpływ warunków krystalizacji na powstawanie defektów w kryształach czteroboranu litu”, Materiały Elektroniczne, 26 (1998) 55-62
8. T. Łukasiewicz, A. Majchrowski, „Czochralski growth of lithium tetraborate single crystals”, Materials Letters, vol. 11, No. 8,9 (1991) 281-283

### **Radiation defects in $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ single crystals and glasses**

**Abstract.** The defect level of  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  single crystals and glasses was determined before and after  $\gamma$ -irradiation with doses from  $10^4$  to  $10^6$  Gy. Absorption decrease of single crystals after radiation treatment near short wave absorption edge was stated for a dose of  $10^6$  Gy. Defects which lead to increase of the absorption seem to be mainly thermal stresses.