

Dispersja przenikalności dielektrycznej kryształów SBN w zakresie spektralnym światła widzialnego i nadfioletu

Krzysztof Dorywalski, Bohdan Andriyevsky, Aleksy Patryn

Wydział Elektroniki i Informatyki

Politechnika Koszalińska

Ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, Polska

Streszczenie

Dispersja przenikalności dielektrycznej (funkcje pseudo-dielektryczne) $\langle \epsilon \rangle(E) = \langle \epsilon_1 \rangle(E) + i\langle \epsilon_2 \rangle(E)$ kryształów $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN) została zmierzona w temperaturze pokojowej dla pięciu współczynników zawartości atomów Sr ($x = 0,40; 0,55; 0,61; 0,65; 0,75$) oraz Ba ($1-x$) przy pomocy spektroskopii elipsometrycznej z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego w zakresie energii fotonów $E = 1,3 - 10$ eV. Uzyskane widma $\langle \epsilon_2 \rangle(E)$ dla SBN są bardzo zbliżone do analogicznego widma kryształu LiNbO_3 , w którym oktaedryczne grupy NbO_6 są odpowiedzialne za osobliwości zależności $\langle \epsilon \rangle(E)$. Przeanalizowano zmiany charakterystyk dyspersyjnych SBN wraz ze zmianą współczynnika x . Ustalono, że zależność części urojonej przenikalności $\langle \epsilon_2 \rangle$ SBN od współczynnika x jest o charakterze ekstremalnym, nieliniowym.

Słowa kluczowe: kryształy $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$, spektroskopia elipsometryczna, przenikalność dielektryczna

Wprowadzenie

Kryształy $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ($0,25 \leq x \leq 0,8$), krócej SBN (*ang.* strontium-barium niobate), uzyskane po raz pierwszy niezależnie przez Smolenskii'ego [1] oraz Francombe'a [2], są przyjaznymi środowisku materiałami (bezołowiowymi) z rodziny ferroelektryków. Ze względu na swe wyjątkowe właściwości dielektryczne, elektro-optyczne, nieliniowo-optyczne, piezoelektryczne czy fotorefrakcyjne, SBN jest materiałem szczególnie atrakcyjnym z punktu widzenia wielu zastosowań technologicznych, takich jak pamięci holograficzne [3-6], detektory piroelektryczne [7, 8], modulatory elektro-optyczne [9], generatory drugiej harmonicznej [10] i inne zastosowania w aplikacjach optoelektronicznych.

SBN należy do tetragonalnego układu krystalograficznego (tetragonal tungsten bronze) i grupy symetrii przestrzennej $P4bm$ w temperaturze pokojowej. Komórka elementarna tego kryształu zbudowana jest z dwóch typów niezależnych cząstek NbO_6 o kształcie oktaedru, połączonych narożnikami w taki sposób, że tworzą one w przestrzeni pomiędzy sobą trzy różne typy kanałów wzdłuż krystalograficznej osi c . Największy z kanałów może być zajmowany zarówno przez jony Sr jak i Ba, których zawartość w kanale zmienia się wraz ze stosunkiem $x = n_{\text{Sr}}/n_{(\text{Sr}+\text{Ba})}$, gdzie n to ilość atomów w dowolnej masie kryształu [11]. Dlatego też interesujące jest zbadanie zmian właściwości dielektrycznych SBN wraz ze zmieniającym się współczynnikiem x .

Na podstawie wcześniejszych badań ustalono, że SBN ($x = 0,25 - 0,79$) w zakresie widmowym przezroczystości jest kryształem jednoosiowym, optycznie ujemnym ($n_o > n_e$) i anizotropowym o dwójłomności $\Delta n < 0,05$ [12-16]. W temperaturze pokojowej, współczynnik załamania promienia nadzwyczajnego światła n_e wzrasta wraz ze zwiększaniem wartości x [12-16], natomiast współczynnik załamania promienia zwyczajnego n_o maleje, przy czym wrażliwość współczynnika n_o na zmianę x jest o rząd wielkości mniejsza niż n_e [12-15]. Zależność wartości przerwy energetycznej $E_g(x)$, badane dla polaryzacji światła w kierunku równoległym i prostopadłym do osi optycznej przy ustalonej wartości współczynnika absorpcji $\alpha = 100 \text{ cm}^{-1}$ [16, 17], wykazuje charakter nieliniowy.

Jak dotychczas brak danych o przenikalności dielektrycznej SBN w zakresie energii fotonów $E > E_g$, odpowiadającym absorpcji fundamentalnej kryształów. Znane są tylko widma współczynnika odbicia światła $R(E)$ kryształów SBN70 ($x = 0,70$) i LiNbO_3 (LN) w zakresie energii fotonów $E = 2 - 35 \text{ eV}$, otrzymane z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego [18]. Widma te zawierają dwa wyraźne pasma: pierwsze w przedziale $3,5 - 6,5 \text{ eV}$, drugie $8,5 - 11 \text{ eV}$. Kształt tych pasm jest bardzo zbliżony dla obu kryształów. Dla SBN, maksimum pierwszego pasma znajduje się przy energii fotonu $E = 4,5 \text{ eV}$, dla LN przy $E = 5 \text{ eV}$. Z kolei maksimum drugiego pasma w SBN jest przy $E = 9,3 \text{ eV}$, dla LN przy $E = 9,8 \text{ eV}$. Rezultaty te dowodzą, że oktaedryczne grupy NbO_6 w największym stopniu odpowiadają za właściwości optyczne kryształów SBN oraz LN w zakresie $E < 12 \text{ eV}$. Na podstawie pomiarów zależności $R(E)$, korzystając z relacji Kramersa-Kroniga, obliczono również dyspersję przenikalności dielektrycznej $\varepsilon(E)$ (funkcje dielektryczne) obu kryształów [18]. Jednakże dotychczas brakowało wyników bezpośrednich pomiarów zależności $\varepsilon(E)$ dla różnych kierunków krystalograficznych SBN oraz różnych wartości współczynnika x . Wyniki takie mogą być kluczowe dla uzyskania większej wiedzy na temat struktury elektronowej oraz wiązań chemicznych w SBN.

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań części rzeczywistej $\varepsilon_1(E)$ i urojonej $\varepsilon_2(E)$ funkcji dielektrycznej $\varepsilon(E)$ kryształu SBN dla pięciu różnych wartości współczynnika x w zakresie 0,40 – 0,75. Wykorzystano próbki w postaci płasko-równoległych płytek o orientacji płaszczyzny odbijającej promieniowanie [100] i osi optycznej kryształów w kierunku [001].

Metoda badawcza

Monokryształy SBN uzyskano metodą Czochralskiego z wykorzystaniem urządzenia Oxypuller 05-03 (Cyberstar, Francja) wyposażone w grzanie indukcyjne [19, 20]. Kryształy hodowano w kierunku krystalograficznym [001]. Jednorodność optyczną próbek potwierdzono przy pomocy mikroskopu polaryzacyjnego.

Funkcje pseudo-dielektryczne $\langle \varepsilon \rangle = \langle \varepsilon_1 \rangle + i \langle \varepsilon_2 \rangle$ (dalej w tekście $\varepsilon = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2$) kryształu SBN zmierzono metodą spektroskopii elipsometrycznej [21] w zakresie energii fotonów 1,3 – 10 eV. Do pomiarów w zakresie 3,1 – 10 eV wykorzystano unikalny na skalę światową wysokopróżniowy elipsometr pracujący w układzie z obracającym analizatorem, dołączony do monochromatora 3m-NIM na synchrotronie elektronowym BESSY II w Berlinie [21, 22] (Rys. 1). Urządzenie to podzielone jest na kilka sekcji. Padające światło przechodzi najpierw przez pierwszą komorę zawierającą dwa dodatkowe polaryzatory, filtr optyczny oraz przesłonę umożliwiającą pomiar prądu ciemnego detektora. Do badań w zakresie $E < 10$ eV wykorzystano polaryzator oraz analizator w postaci pryzmatów Rochona wykonanych z kryształu MgF_2 . Instrumenty te zapewniają wysoki stopień polaryzacji światła aż do 99,998 %, dzięki temu możliwy jest pomiar funkcji pseudo-dielektrycznych z dokładnością $\Delta\varepsilon/\varepsilon < 0,02$. Promień światła odbity od powierzchni próbki pod kątem około 68° przechodzi do komory analizatora, w której, obok wspomnianego obracającego się analizatora, znajduje się fotodioda krzemowa pracująca jako detektor. Aby możliwe były pomiary w zakresie nadfioletu oraz w celu zapewnienia wysokiej czystości powierzchni mierzonych próbek, wewnątrz elipsometru utrzymywane jest w wysokiej próżni rzędu 10^{-8} – 10^{-10} mbar przez zespół turbopomp. Polaryzacja padającego światła została obrócona o 20° w stosunku do płaszczyzny padania.

W zakresie spektralnym promieniowania widzialnego i bliskiego nadfioletu ($E < 5,7$ eV), pomiary wykonano przy pomocy komercyjnego elipsometru SENTECH 801 pracującego również na zasadzie obracającego analizatora, wykorzystującego lampę deuterową jako źródło światła oraz dodatkowo płytkę ćwierćfalową jako retarder.

Wypolerowane próbki SBN z nierównościami powierzchni nie przekraczającymi 1 μm (wymiary: $6 \times 7 \times 2 \text{ mm}^3$) bezpośrednio przed pomiarami pozbawiono powierzchniowych zanieczyszczeń poprzez kąpiel w wanience ultradźwiękowej wypełnionej izopropanolem. Pomiary wykonano dla dwóch orientacji próbek względem płaszczyzny padania światła: (1) oś optyczna kryształu (wzdłuż osi krystalograficznej [001]) równoległa do płaszczyzny padania światła oraz (2) oś optyczna prostopadła do płaszczyzny padania. Wszystkie pomiary przeprowadzono w temperaturze pokojowej 295 K z rozdzielczością widmową $\Delta E = 0,02 \text{ eV}$.

Wyniki badań

Zgodnie z oczekiwaniami, zmierzona wartość przenikalności dielektrycznej ε_{1o} , odpowiadająca współczynnikowi załamania promienia zwyczajnego n_o w zakresie przezroczystości kryształu (1,3 – 3 eV), jest większa od przenikalności dielektrycznej promienia nadzwyczajnego ε_{1e} o wielkość w granicach 0,12 – 0,20 (Rys. 2). Największa różnica ($\varepsilon_{1o} - \varepsilon_{1e}$) występuje dla SBN40. Rezultaty te są zgodne z danymi zawartymi w publikacjach [12, 13]. Wartości ε_{1o} oraz ε_{1e} przy ustalonej energii fotonu E wyraźnie zależne są od współczynnika kompozycji kryształu x . Zależność $\varepsilon_{1e}(x)$ jest zgodna (za wyjątkiem SBN61) z zależnością zaobserwowaną dla odpowiednich współczynników załamania promienia nadzwyczajnego n_e . [12]: $\varepsilon_{1e}^{(\text{SBN:40})} < \varepsilon_{1e}^{(\text{SBN:55})} < \varepsilon_{1e}^{(\text{SBN:65})} < \varepsilon_{1e}^{(\text{SBN:75})}$. Również bezwzględne wartości zmierzonych przenikalności dielektrycznych ε_{1o} oraz ε_{1e} są zgodne z odpowiednimi referencyjnymi współczynnikami załamania światła n_o i n_e ($\varepsilon_1 = n^2$) zmierzonymi dla kryształów SBN25, SBN50, SBN75 [12] (Tabela 1).

Część urojoną funkcji dielektrycznej $\varepsilon_2(E)$ badanych kryształów charakteryzują dwa wyraźne pasma: w przedziale energii fotonów 4 – 6 eV pierwsze, oraz 8 – 10 eV drugie. Dokładna pozycja i kształt pasm zależy od współczynnika x . Biorąc pod uwagę, że widma odbicia światła synchrotronowego $R(E)$, uzyskane w [18] dla kryształów SBN i innych kryształów zawierających oktaedryczne grupy NbO_6 , charakteryzują bardzo podobne pasma, wnioskować można, że te dwa pasma widma $\varepsilon_2(E)$ związane są głównie ze stanami elektronowymi grup NbO_6 . Taką sugestię potwierdzają także rezultaty obliczeń struktury pasmowej kryształów LN [23, 24]. W związku z tym, różnice w widmach $\varepsilon_2(E)$ dla różnych wartości x można interpretować jako spowodowane pewnymi zaburzeniami struktury elektronowej grup NbO_6 . Zaburzenia te mogą być skutkiem deformacji tych grup wywoływanych sąsiednimi atomami Sr oraz Ba, których pozycja w komórce elementarnej, a także odległość od NbO_6 , zmienia się wraz ze zmianą współczynnika zawartości x .

Zaobserwować można, że wartości maksymalne widm $\varepsilon_{2o}(E)$ oraz $\varepsilon_{2e}(E)$ dla SBN61 w drugim paśmie absorpcji (8 – 10 eV) są zdecydowanie mniejsze niż dla pozostałych badanych próbek SBN (Rys. 3, 4). Największe wartości maksymalne ε_{2o} oraz ε_{2e} charakteryzują kryształy o najmniejszej ($x = 0,40$) oraz największej ($x = 0,75$) spośród badanych wartości współczynnika x . Ponadto wartość energii fotonu, odpowiadająca maksimum drugiego pasma absorpcyjnego widma $\varepsilon_{2o}(E)$, zmienia się aż do wartości o 0,3 eV większej podczas oddalania się od $x = 0,61$ w jedną, jak i drugą stronę. Dla odmiany, w odpowiednim widmie $\varepsilon_{2e}(E)$ pozycja maksimum jest niemal całkowicie niezależna od współczynnika x .

Wyraźne zależności przenikalności ε_2 od zmian współczynnika x widać również w zakresie 4 – 6 eV właściwym pierwszemu pasmu zależności $\varepsilon_2(E)$. Wartości energii fotonu E , odpowiadające maksimum zarówno $\varepsilon_{2o}(E)$ jak i $\varepsilon_{2e}(E)$, ulegają przesunięciu względem pozycji maksimum SBN61 z tą różnicą, że przesunięcie maksimum $\varepsilon_{2o}(E)$ jest mniejsze niż $\varepsilon_{2e}(E)$. Również tutaj amplituda $\varepsilon_2(E)$ dla SBN61 jest najmniejsza spośród wszystkich badanych kryształów dla obu składowych, ε_{2o} i ε_{2e} . Ponadto zależność widma $\varepsilon_{2e}(E)$ od współczynnika x jest wyraźniejsza w porównaniu z zależnością widma $\varepsilon_{2o}(E)$ (Rys. 3, 4). Może wskazywać to, że odpowiednie zmiany stanów elektronowych w kierunku osi krystalograficznej z są większe niż w kierunkach x i y . Wniosek ten jest zgodny z nierównością współczynników załamania w zakresie przezroczystości kryształu ($n_o > n_e$) [12-15], świadcząca o mniejszej średniej polaryzowalności cząstek NbO_6 w kierunku z w porównaniu do kierunków x oraz y . Może sugerować to również występowanie słabszych wiązań chemicznych w kierunku osi z w porównaniu do pozostałych osi krystalograficznych. Dlatego też, można spodziewać się wyraźniejszych zmian w części urojonej funkcji dielektrycznej $\varepsilon_{2e}(E)$ niż w $\varepsilon_{2o}(E)$ w kryształach SBN dla różnej wartości zawartości atomów Sr i Ba.

W wielu ciałach stałych, zgodnie z zasadą Vegard'a, zmiany właściwości materiału wraz ze zmianą kompozycji przyjmują charakter liniowy. Często również występuje liniowa zależność pomiędzy parametrami komórki elementarnej a współczynnikiem x określającym zawartości odpowiednich atomów w związku. Jednakże w przypadku SBN zasada ta nie obowiązuje, co już wcześniej stwierdzono [11]. Dla SBN, zależność parametrów komórki elementarnej oraz innych wielkości od współczynnika x , dla przykładu wartości przerwy energetycznej E_g , opisuje wielomian drugiego stopnia [11, 25]. Jeśli chodzi o badane kryształy SBN, zaobserwować można wyraźnie nieliniową zależność od współczynnika x

charakterystycznych pozycji energii fotonu funkcji $\varepsilon_{2o}(E)$ oraz $\varepsilon_{2e}(E)$. Przykładem może być zależność energii fotonów E w funkcji współczynnika x w rejonie niskoenergetycznej krzywej pasma 4 – 6 eV (Rys. 5). Współczynnik 8.1 przy x^2 rozkładu $E_{\varepsilon_{2e=4}}(x)$ jest dwa razy większy niż dla rozkładu $E_{\varepsilon_{2o=4}}(x)$ (3.2) (Rys. 5). Uzyskana krzywa dowodzi, że w SBN61 występują średnio najsilniejsze wiązania chemiczne w porównaniu do pozostałych związków SBN.

Należy również pokreślić, że niestechiometryczne stany defektowe w kryształach LN zasadniczo wpływają na dyspersję pasm energetycznych i funkcje dielektryczne [26, 27].

Wnioski

Charakterystyki dyspersyjne (funkcje dielektryczne) $\varepsilon_1(E)$ oraz $\varepsilon_2(E)$ pięciu kryształów SBN o różnej kompozycji ($x = 40; 55; 61; 65; 75$) zostały zmierzone przy pomocy spektroskopii elipsometrycznej z wykorzystaniem promieniowania synchrotronowego w zakresie energii fotonu 1,3 – 10 eV odpowiadającym przezroczystości oraz energii wzbudzenia elektronowego kryształu.

Część urojona funkcji dielektrycznych $\varepsilon_2(E)$ kryształów SBN zawiera dwa wyraźne pasma absorpcji, które pochodzą głównie od oktaedrycznych grup NbO_6 . Parametry tych pasm są bardzo podobne do tych znanych z kryształów LiNbO_3 .

Zależność właściwości optycznych od współczynnika kompozycji x dla SBN przyjmuje charakter nieliniowy ze skrajnymi wartościami cechującymi SBN61.

Bardziej szczegółowa charakterystyka widma $\varepsilon_2(E)$ oraz wyjaśnienie zaobserwowanych zależności od współczynnika kompozycji x widm $\varepsilon_1(E)$ oraz $\varepsilon_2(E)$ dla kryształów SBN możliwe są na podstawie obliczeń *ab-initio* struktury pasmowej.

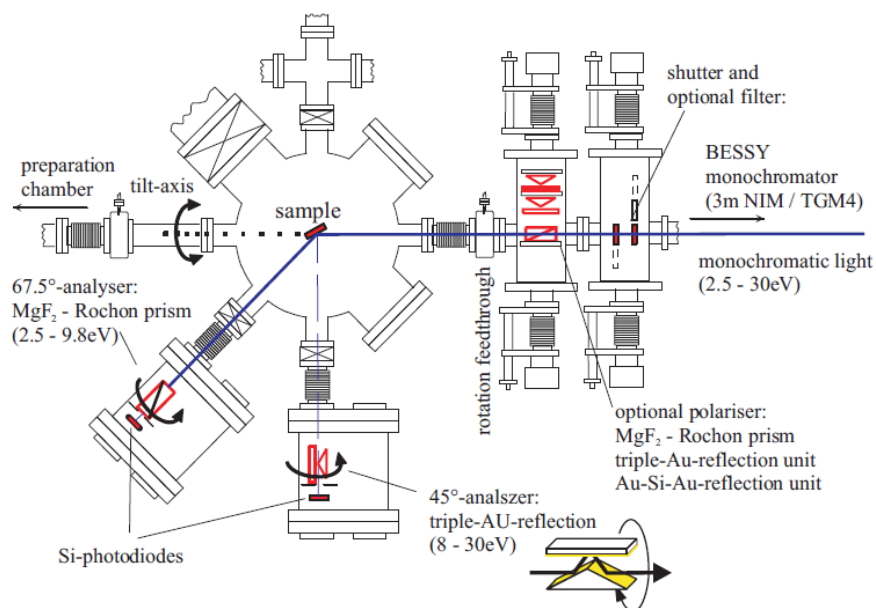
Bibliografia:

- [1] Smolenskii GA, Ksendzov YaI, Agranovskaya AI, Popov SN: Dielektrichesкая polarizacia tverdykh rastvorov metaniobiatov dwoch- i trechvalentnykh metallo; in "Fizika Tverdogo Tela,," part II, 1959;2: 244-250 AN SSSR, Moscow. (in Russian).
- [2] Francombe MH: The relation between structure and ferroelectricity in lead barium and barium strontium niobates. Acta Cryst. 1960;13: 131-140.
- [3] Thaxter JB: Electric control of holographic storage in strontium-barium-niobate. Appl. Phys. Lett. 1969;15: 210-213.
- [4] Thaxter JB, Kestigian M: Unique properties of SBN and their use in a layered optical memory. Appl. Opt. 1974;13: 913-924.

- [5] Micheron F, Mayeux C, Trotier JC: Electrical control in photoferroelectric materials for optical storage. *Appl. Opt.* 1974;13: 784-787.
- [6] Redfield S, Hesselink L: Enhanced nondestructive holographic readout in strontium barium niobate. *Opt. Lett.* 1988;13: 880-882.
- [7] Kruer MR, Esterowitz L, Bartoli FJ, Allen RE: Optical radiation damage of sbn materials and pyroelectric detectors at 10.6 μm . *J. Appl. Phys.* 1975;46: 1072-1079.
- [8] Glass AM: Investigation of the electrical properties of $\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$ with special reference to pyroelectric detection. *J. Appl. Phys.* 1969;40: 4699-4712.
- [9] Marx JM, Tang Z, Eknayan O, Taylor HF, Neurgaonkar RR: Low-loss strain induced optical waveguides in strontium barium niobate $\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{Nb}_2\text{O}_6$ at 1.3 μm wavelength. *Appl. Phys. Lett.* 1995;66: 274-276.
- [10] Kewitsch AS, Segev M, Yariv A, Salam GJ, Towe TW, Sharp EJ, Neurgaonkar RR: Tunable quasi-phase matching using dynamic ferroelectric domain gratings induced by photorefractive space-charge fields. *Appl. Phys. Lett.* 1994;64: 3068-3070.
- [11] Podlozhenov S, Graetsch HA, Schneider J, Ulex M, Wohlecke M, Betzler K: Structure of strontium barium niobate $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBN) in the composition range $0.32 \leq x \leq 0.82$. *Acta Cryst. B* 2006;62: 960-965.
- [12] Lenzo PV, Spencer EG, Ballman AA: Electro-optic coefficients of ferroelectric strontium barium niobate. *Appl. Phys. Lett.* 1967;11; 23-24.
- [13] Spencer EG, Lenzo PV, Ballman AA: Dielectric materials for electrooptic, elasto-optic, and ultrasonic device applications. *Proc. IEEE* 1967;55: 2074-2108.
- [14] Kip D, Aulkemeyer S, Buse K, Mersch F, Pankrath R, Kratzig E: Refractive indices of $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$ single crystals. *Phys. Stat. Sol. (a)* 1996;154: K5 – K7.
- [15] Woike Th, Granzow T, Dorfler U, Poetsch Ch, Wohlecke M, Pankrath R: Refractive indices of congruently melting $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$. *Phys. Stat. Sol. (a)* 2001;186: R13 – R15.
- [16] David C, Tunyagi A, Betzler K, Wohlecke M: Compositional dependence of optical and vibrational properties of strontium barium niobate ($\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{NbO}_6$). *Phys. Stat. Sol. (b)* 2007; 244: 2127 – 2137.
- [17] Van Vechten JA, Bergstresser TK: Electronic structures of semiconductor alloys. *Phys. Rev. B* 1970;1: 3351-3358.
- [18] Mamedov AM: Optical properties (VUV region) and band structure of ferroelectrics and related materials. *Ferroelectrics* 1982;45: 55-61.

- [19] Lukasiewicz T, Swirkowicz MA, Dec J, Hofman W, Szyrski W: Strontium–barium niobate single crystals, growth and ferroelectric properties. *J. Cryst. Growth* 2008;310: 1464–1469.
- [20] Dec J, Łukasiewicz T, Świrkowicz M, Heckhoff M, Kleemann W: Optical homogeneity of Czochralski-grown strontium-barium niobate single crystals. *Ferroelectrics* 2008;373: 109–113.
- [21] Tompkins HG, Irene EA: *Handbook of Ellipsometry*, William Andrew Publishing, Norwich, 2005.
- [22] Cobet C, Goldhahn R, Richter W, Esser N: Identification of van Hove singularities in the GaN dielectric function: a comparison of the cubic and hexagonal phase. *Phys. Stat. Sol. B* 2009;246: 1440–1449.
- [23] Ching WY, Gu ZQ, Xu YN: First-principal calculations of the electronic and optical properties of LiNbO₃. *Phys. Rev. B* 1994;50: 1992-1995.
- [24] Schmidt WG, Albrecht M, Wippermann S, Blankenburg S, Rauls E: LiNbO₃ ground- and excited-state properties from first-principles calculations. *Phys. Rev. B* 2008;77: 035106-6.
- [25] Zunger A, Jaffe JE: Structural origin of optical bowing in semiconductor alloys. *Phys. Rev. Lett.* 1983;51: 662-665.
- [26] Kityk IV, Makowska-Janusik M, Majchrowski A: Influence of non-stoichiometric defects on electrooptics in KNbO₃. *Phys. Stat. Sol. (b)* 2000;221: 815-829.
- [27] Kityk IV, Makowska-Janusik M, Fontana MD, Aillerie M, Fahmi A: Influence of non-stoichiometric defects on optical properties in LiNbO₃. *Cryst. Res. Technol.* 2001;36: 577-589.

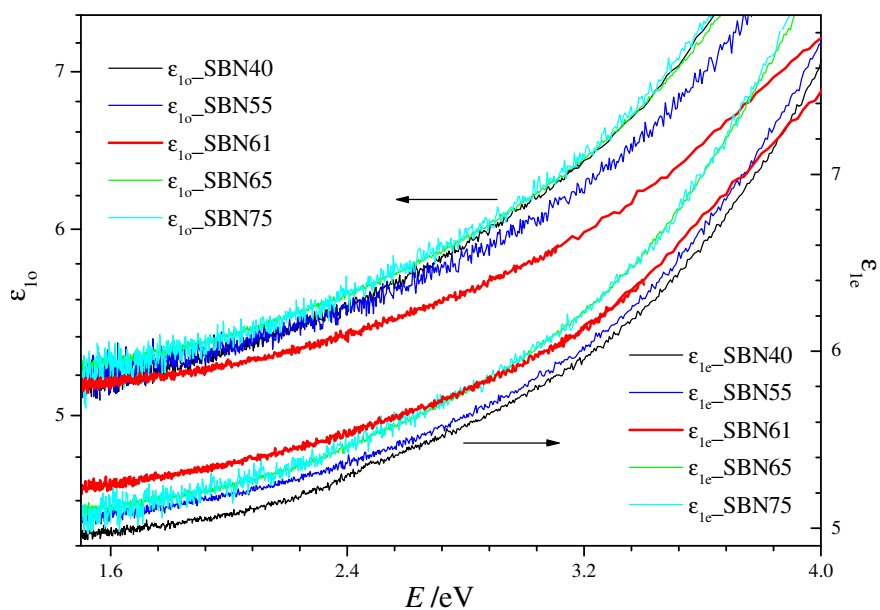
Dielectric dispersion of SBN crystals in the spectral range of the visible light and ultraviolet



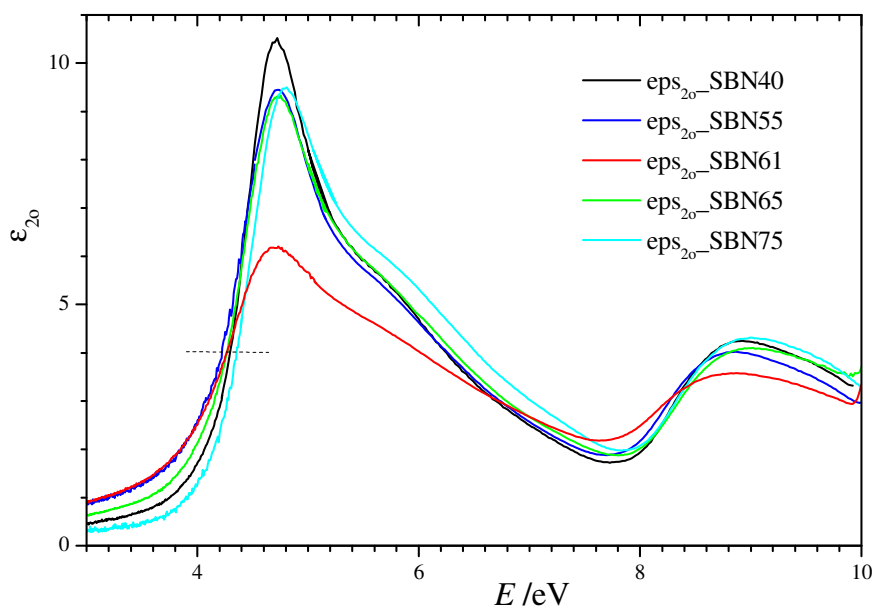
Rysunek 1. Szkic elipsometru na synchrotronie elektronowym Bessy II [22]

Tabela 1. Zakres zmian współczynników załamania n_o i n_e wraz ze zmianą współczynnika x kompozycji kryształów SBN dla energii fotonu $E = 2,066$ eV (długość fali $\lambda = 600$ nm).

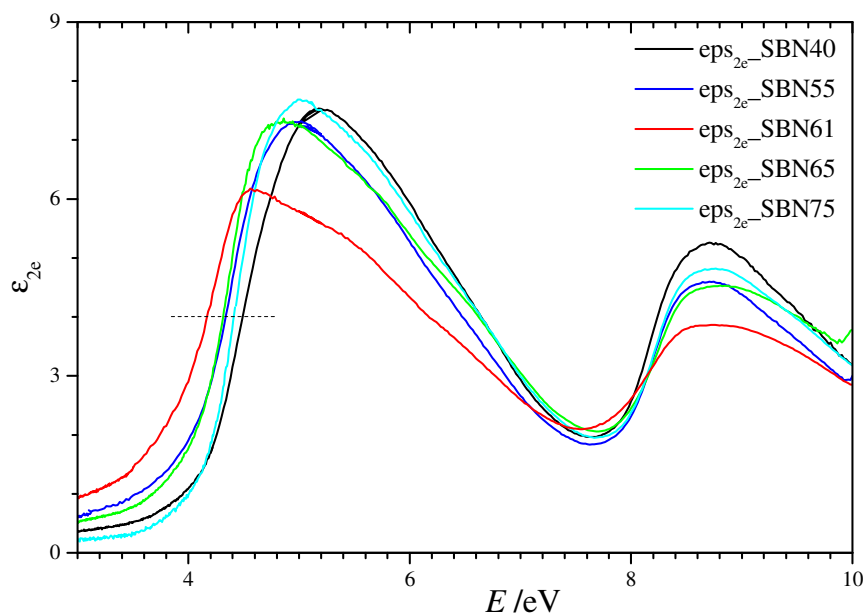
	dane niniejsze	dane referencyjne [13]
współczynnik załamania	zakres $40 < x < 75$	zakres $25 < x < 75$
n_o	2.317 – 2.335	2.320 – 2.325
n_e	2.256 – 2.297	2.270 – 2.310



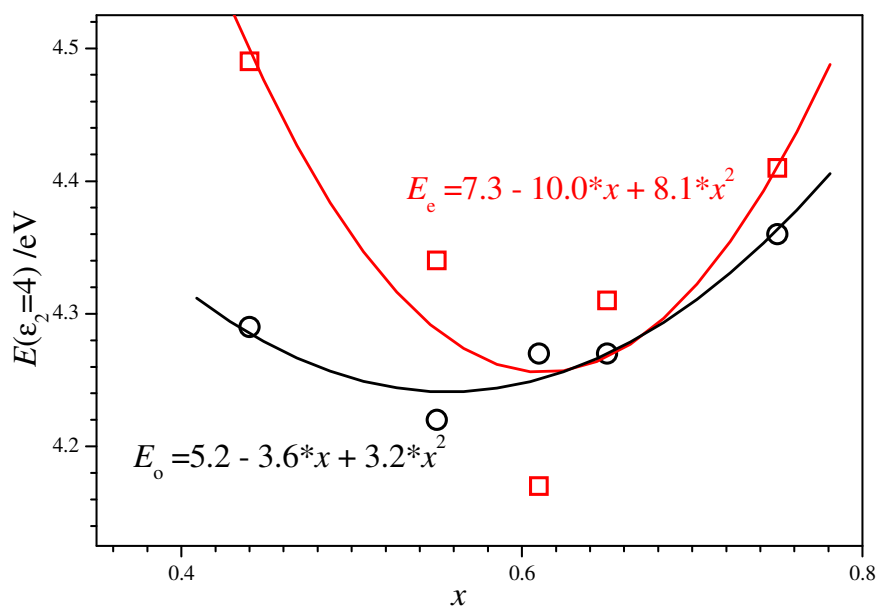
Rysunek 2. Dyspersja przenikalności dielektrycznej $\epsilon_{1o}(E)$ oraz $\epsilon_{1e}(E)$ kryształów SBN w temperaturze pokojowej 295 K. Dla lepszego rozróżnienia krzywych $\epsilon_{1o}(E)$ i $\epsilon_{1e}(E)$ skale dla ϵ_{1o} oraz ϵ_{1e} są przesunięte o 0,5



Rysunek 3. Dyspersja części urojonej przenikalności dielektrycznej promienia zwyczajnego $\epsilon_{2o}(E)$ kryształu SBN w temperaturze pokojowej dla różnych współczynników $x = \text{Sr}/(\text{Sr}+\text{Ba})$



Rysunek 4. Dyspersja części urojonej przenikalności dielektrycznej promienia nadzwyczajnego $\varepsilon_{2e}(E)$ kryształu SBN w temperaturze pokojowej dla różnych współczynników $x = \text{Sr}/(\text{Sr}+\text{Ba})$



Rysunek 5. Zależność zmian energii fotonu E_0 oraz E_e części urojonej funkcji dielektrycznych $\varepsilon_{2o}(E)$ i $\varepsilon_{2e}(E)$ kryształów SBN od współczynnika x , przy ustalonej wartości $\varepsilon_{2o} = \varepsilon_{2e} = 4$