

Badania wpływu domieszki jonów Gd^{3+} na własności magnetoptyczne szkła tellurowego

DR EDMUND GOLIS

AKADEMIA IM. JANA DŁUGOSZA W CZĘSTOCHOWIE
INSTYTUT FIZYKI, WYDZIAŁ MATEMATYCZNO-PRZYRODNICZY

Badania szkieł tellurowych, należących do grupy szkieł specjalnych, ukierunkowane na możliwości ich zastosowań w technice światłowodowej i optoelektronice są uzasadnione ze względu na interesujące własności fizykochemiczne [1, 2]. Szczególną rolę w przypadku tych szkieł odgrywa dobra przepuszczalność światła w obszarze widzialnym i bliskiej podczerwieni oraz możliwość ich kształtowania w postaci włókien światłowodowych.

Wysoka wartość współczynnika załamania światła w szklach tellurowych sugeruje występowanie dobrych własności magnetoptycznych [3]. Wśród szkieł, w których można uzyskać wysoki efekt magnetoptyczny można wyróżnić m.in.:

- szkła, których składniki posiadają właściwości diamagnetyczne oraz takie, które zawierają w swej strukturze paramagnetyczne jony pierwiastków ziem rzadkich [3, 4],
- szkła, które zawierają w swoim składzie dużą ilość pierwiastków o właściwościach diamagnetycznych, takich jak ołów, tellur czy bizmut.

Cechą szczególną szkieł tellurowych jest łatwość rozpuszczania pierwiastków ziem rzadkich takich jak Pr^{3+} , Er^{3+} , Nd^{3+} , Gd^{3+} itp. Domieszkowanie szkieł przez optycznie aktywne domieszki jonów

dr Edmund Golis



Doktor nauk technicznych w zakresie inżynierii materiałowej. Adiunkt w Zakładzie Badań Strukturalnych i Fizyki Medycznej Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. W pracy naukowej głównie zajmuje

się badaniami szkieł specjalnych dla zastosowań w optoelektronice. Wyniki dotyczące badań strukturalnych, własności nieliniowo optycznych i magnetoptycznych różnych materiałów amorficznych opublikował w ponad 50 artykułach naukowych z dziedziny fizyki i nauki o materiałach. Członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Polskiego Towarzystwa Ceramicznego. e.golis@ajd.czyst.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące szkła tlenkowego tellurowego domieszkowanego jonami gadolinu.

Ocenę własności magnetycznych badanych materiałów przeprowadzono określając dominujący rodzaj uporządkowania magnetycznego, przez pomiary stałopolowej podatności magnetycznej. Własności magnetoptyczne określono w oparciu o pomiary efektu Faradaya i obliczenia stałej Verdet na podstawie wartości kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła.

Wyniki badań podatności magnetycznej wskazują na zmianę charakteru uporządkowania magnetycznego wywołanego domieszkowaniem badanego szkła jonami Gd^{3+} . Domieszkowanie szkła tellurowego jonami gadolinu zmienia znak podatności magnetycznej, co świadczy o przejściu w uporządkowanie diamagnetyczne. Zmiana uporządkowania magnetycznego powoduje pogorszenie własności magnetoptycznych. Obserwowany na podstawie wcześniejszych badań PALS [1] wzrost defektów punktowych i wzrost rozmiarów defektów objętościowych, może mieć w tym przypadku, przy małej wartości podatności magnetycznej, wpływ na takie zachowanie się efektu magnetoptycznego. Otrzymane wyniki mogą stanowić ważne wskazania do opracowania nowych materiałów o dobrych własnościach magnetoptycznych dla zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych.

SUMMARY

Studying influence of element Gd^{3+} on the magneto-optic properties of the tellurite glass

This paper presents the results of research on the tellurite oxide glasses containing Gd^{3+} elements addition.

The evaluation of the magnetic properties of the investigated materials was based on the determination of the dominant type of magnetic order by measuring the DC magnetic susceptibility. Their magneto-optic properties were determined on the base of the Faraday effect measurements and Verdet constant calculated from the turn angle of the surface light polarization.

The results of magnetic susceptibility measurements indicate the change in the nature of magnetic ordering induced by the addition of gadolinium ions. Parent glass Te2 is a typical paramagnetic. The addition of gadolinium ions to the parent glass caused the change in magnetic ordering from paramagnetic to diamagnetic. With the change in the nature of magnetic ordering magneto-optic effect is reduced. An increase amount of point defects and an increase of average volume defect sizes that was observed on the basis of PALS [1], and a small value of magnetic susceptibility in this case may influence such behavior of the magneto-optic effect. The obtained results can provide important advises on the development of new materials possess unique magneto-optic properties for applications in optoelectronic devices.

SŁOWA KLUCZOWE

własności magnetoptyczne, stała Verdet, szkła tlenkowe tellurowe, materiały dla optoelektroniki

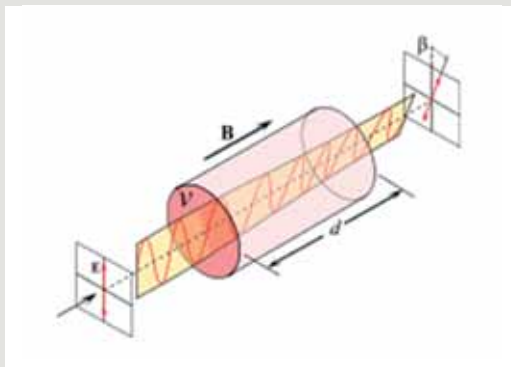
KEYWORDS

magneto-optic properties, Verdet constant, tellurite oxide glasses, materials for optoelectronics

lantanowców, pozwala na wprowadzenie nowych poziomów energetycznych i polepszenie własności optycznych. Ze względu na niską energię fononów szkła tellurowe wykorzystuje się jako materiał do budowy wzmacniaczy optycznych i urządzeń laserowych [2].

Rodzaj uporządkowania magnetycznego w materiale można określić opierając się o wartość podatności magnetycznej, która obrazuje związek między namagnesowaniem i natężeniem pola magnetycznego. Materiały o małej, ujemnej wartości podatności magnetycznej nazywamy diamagnetykami, o niewielkiej ale dodatniej – paramagnetykami, natomiast o dodatniej i dużej lub bardzo dużej – ferromagnetykami. Efekt magnetoptyczny odnosi się do dwóch rodzajów uporządkowania magnetycznego obserwowanych w szkłe: diamagnetycznego i paramagnetycznego.

Działanie urządzeń optoelektronicznych wykorzystujących własności magnetoptyczne jest oparte na zjawisku Faraday'a, polegającym na skręceniu płaszczyzny polaryzacji światła spolaryzowanego liniowo pod wpływem pola magnetycznego, którego kierunek linii sił jest równoległy do kierunku wiązki świetlnej przechodzącej przez izotropowe ciało przezroczyste. Schematycznie zjawisko to przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Magnetoptyczny efekt Faradaya'a.

Światło spolaryzowane liniowo jest równoważne złożeniu światła spolaryzowanego prawoskrętnie i lewoskrętnie. Na skutek zmiany struktury elektronowej materiału indukowanej zewnętrznym polem magnetycznym oraz zależnego od polaryzacji oddziaływania ze spinami elektronów, fale elektromagnetyczne o różnych polaryzacjach kołowych mają w próbce różne prędkości fazowe. W wyniku tego, fala spolaryzowana lewoskrętnie będzie po wyjściu z materiału przesunięta w fazie, w stosunku do fali spolaryzowanej prawoskrętnie, co po złożeniu da światło spolaryzowane liniowo w innej płaszczyźnie niż przed wniknięciem do próbki. Miarą zmian azymutu stanu polaryzacji wiązki światła, przechodzącej przez materiał poddany działaniu wzdłużnego pola magnetycznego, jest stała Verdet, zależna od rodzaju materiału, długości fali świetlnej i temperatury.

Szkła wykazujące silne właściwości magnetoptyczne stwarzają możliwości zastosowań w optoelektronice, m.in. jako czujniki pola magnetycznego czy izolatory optyczne w układach laserowych, przy sprzęganiu laserów półprzewodnikowych ze światłowodami, aby wyeliminować światło odbite od czoła światłowodu.

Eksperyment

Szkła tellurowe wytapiano w tyglach platynowo-złotych z przykrywką w piecu elektrycznym, w temperaturze 850°C w atmosferze powietrza. Stopione zestawy wylewano do mosiężnej formy, podgrzanej do temperatury 330°C. Otrzymane szkła odprężano w temperaturze 320-340°C przez 12 godzin. W celu przygotowania próbek do pomiarów, szkło poddano odpowiedniej obróbce mechanicznej przez szlifowanie i polerowanie.

Badano szkła tellurowe o następujących składach:

Tabela 1. Składy badanych szkieł

| Symbol szkła | Skład szkła [% mol] |
|--------------|--|
| Te2 | TeO ₂ (51)-P ₂ O ₅ (9)-ZnO(15)-LiNbO ₃ (25) |
| Te2Gd | TeO ₂ (51)-P ₂ O ₅ (9)-ZnO(15)-LiNbO ₃ (25) + 10000[ppm] Gd ³⁺ |

Ocenę własności magnetycznych badanych materiałów przeprowadzono w oparciu o określenie dominującego rodzaju uporządkowania magnetycznego, poprzez pomiary stałopolowej podatności magnetycznej. Do pomiarów wykorzystano stanowisko pomiarowe przedstawione na rys. 2, wyposażone w magnetometr wibracyjny VSM 7301 firmy Lake Shore, znajdujące się w Instytucie Fizyki Politechniki Częstochowskiej.



Rys. 2. Stanowisko do pomiaru podatności magnetycznej.

Pomiary przeprowadzono w temperaturze pokojowej, w zewnętrznym polu magnetycznym o indukcji maksymalnej do 2T.

Własności magnetoptyczne określono opierając się o pomiary efektu Faradaya'a i obliczenia stałej Verdet, na podstawie wartości kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła. Badania wykonano na zbudowanym stanowisku pomiarowym do badania efektu Faradaya'a, przedstawionym na rys. 3, znajdującym się w Instytucie Fizyki Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie.

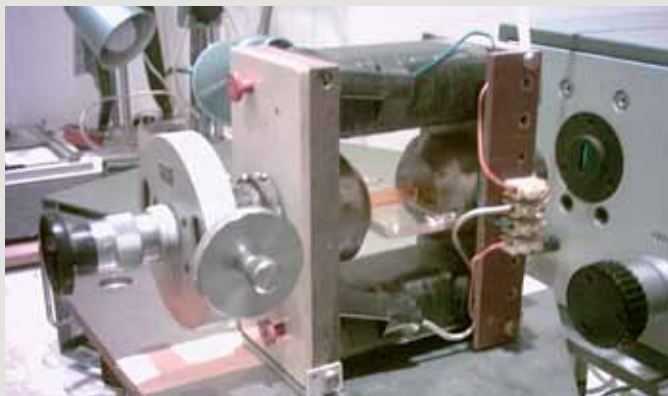
Pomiary kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji przeprowadzono dla fali świetlnej w zakresie od 450 nm do 650 nm we wzdłużnym polu magnetycznym o indukcji 0.06T. Więcej na temat stosowanej techniki pomiarowej można znaleźć w [5].

Wyniki badań i dyskusja

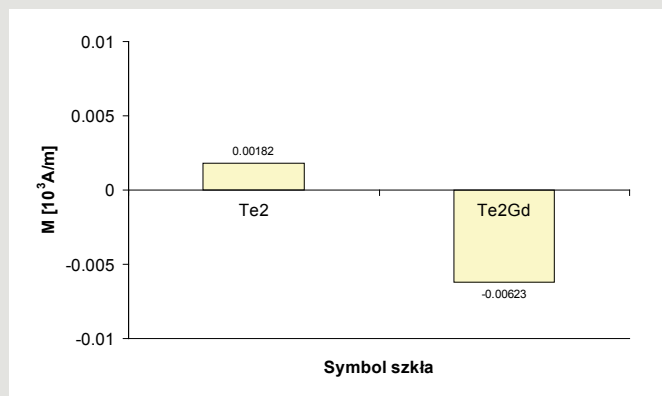
Wyniki pomiarów wartości podatności magnetycznej w badanych szkiełach dla pola magnetycznego o indukcji 1T przedstawiono na rys. 4.

Otrzymana wartość podatności magnetycznej dla szkła matrycy Te2 jest dodatnia i bardzo mała (0.00182×10^3 A/m), co świadczy o paramagnetycznym rodzaju uporządkowania magnetycznego. Domieszkowanie szkła tellurowego Te2 jonami gadolinu Gd³⁺ zmienia znak podatności magnetycznej i dla szkła Te2Gd wartość ta jest ujemna i wynosi $-0,00623 \times 10^3$ A/m. Świadczy to o zmianie charakteru uporządkowania magnetycznego i przejściu w dominujące słabe uporządkowanie diamagnetyczne.

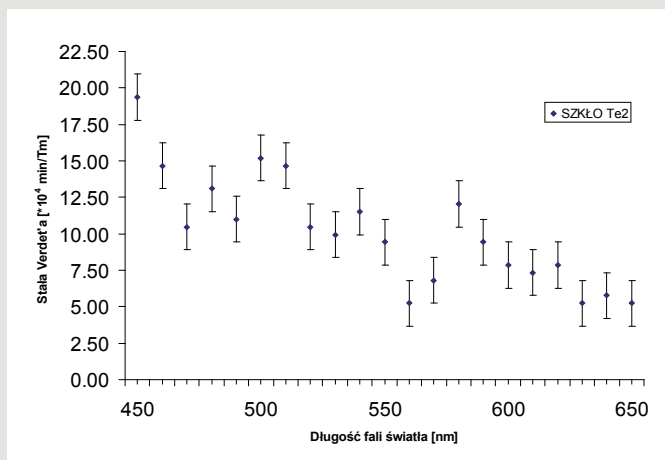
Obliczone na podstawie pomiarów efektu Faradaya'a wartości stałej Verdet dla poszczególnych szkieł przedstawiono na rys. 5 i rys. 6.



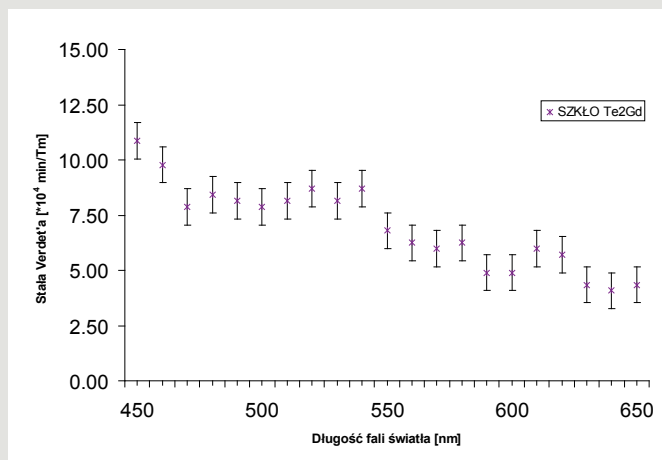
Rys. 3. Stanowisko do pomiaru efektu Faradaya.



Rys. 4. Podatności magnetyczne szkieł Te2 i Te2Gd dla pola o indukcji 1T.



Rys. 5. Wartości stałej Verdet'a dla szkła Te2.



Rys. 6. Wartości stałej Verdet'a dla szkła Te2Gd.

W badanych szklach tellurowych otrzymane maksymalne wartości stałej Verdet'a są mniejsze w porównaniu do szkieł tlenkowych, zawierających pierwiastki o właściwościach diamagnetycznych takich jak ołów czy bizmut [5, 6, 7, 8]. Domieszkowanie czystej matrycy szkła tellurowego Te2 jonami gadolinu Gd³⁺, nie spowodowało oczekiwanego polepszenia własności magnetoptycznych badanego szkła a w konsekwencji wzrostu wartości stałej Verdet'a dla szkła Te2Gd, jak miało to miejsce w przypadku szkieł tellurowych domieszkowanych tlenkiem lantanu [2]. Obserwowana zmiana uporządkowania magnetycznego z paramagnetycznego na diamagnetyczne pod wpływem wprowadzenia do matrycy szkła jonów Gd³⁺, powoduje pogorszenie własności magnetoptycznych i znaczny spadek wartości stałej Verdet'a, o czym świadczą uzyskane wyniki badań przedstawione na rysunkach 5 i 6. Na podstawie wcześniejszych badań strukturalnych z wykorzystaniem spektroskopii czasów życia pozytonów PALS [1], stwierdzono wzrost zdefektowania badanych szkieł i wzrost średnich rozmiarów występujących w nich defektów pod wpływem dodania jonów gadolinu do czystej matrycy szkła. Fakt ten, w powiązaniu z małą i ujemną wartością uzyskanej podatności magnetycznej, może mieć wpływ na takie zachowanie się efektu magnetoptycznego.

Podsumowanie

Wpływ domieszki jonów gadolinu na własności magnetoptyczne ma zupełnie inny charakter niż obserwowany dla domieszkowania szkieł tellurowych tlenkiem lantanu, gdzie uzyskano wyraźny wzrost wartości stałej Verdet'a [2]. Uzyskane rezultaty wskazują na istotną zmianę charakteru uporządkowania magnetycznego badanych szkieł tellurowych pod wpływem wprowadzania optycznie aktywnych

domieszek z grupy lantanowców w postaci jonów gadolinu Gd³⁺. Wprowadzenie do matrycy szkła, wykazującej słabe własności paramagnetyczne, jonów gadolinu charakteryzujących się oddziaływaniami ferromagnetycznymi, mogło spowodować takie przeorganizowanie się domen magnetycznych w badanym materiale, które w powiązaniu z obserwowanymi zmianami struktury, mogło wpłynąć na pogorszenie się własności magnetoptycznych. Otrzymane wyniki mogą stanowić ważne wskazania technologiczne do opracowania nowych szkieł domieszkowanych pierwiastkami ziem rzadkich o dobrych własnościach magnetoptycznych, przeznaczonych dla zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych.

LITERATURA

- [1] Filipecki J., Golis E., Kotynia K., Chamerski K. (2015), *Badanie wpływu domieszki Gd na stopień zdefektowania struktury szkła tellurowego*, Szkló i Ceramika, 1, 17-19
- [2] Golis E. P., Reben M., Wasylak J., Filipecki J. (2008), *Investigations of tellurite glasses for optoelectronics devices*, Optica Applicata, XXXVIII, 1, 163-169
- [3] Borrelli N. F. (1964) *Faraday Rotation in Glasses*, J. Chem. Phys. 41, 3289
- [4] Pye L.D., Cherukuri S.C., Mansfield J., Lorentz T. (1983), *The Faraday effect in some non-crystalline fluorides*, J. Non. Cryst. Solids, 56, 99
- [5] Golis E. P., Filipecki J. (2006), *Badania efektu Faradaya w szklach tlenkowych dla zastosowań w optoelektronice*, materiały X Konferencji „Światłowody i ich zastosowania”, Krasnoblód, 120-123
- [6] Golis E. P., Filipecki J. (2007), *Investigations of Faraday effect in oxide glasses for optoelectronics devices*, Proc. of SPIE, 6608, 66080B-1-66080B-3
- [7] Golis E. P., (2007), *Physical and structural properties of the PbO-Bi₂O₃-Ga₂O₃ glasses*, Visnyk Lviv Univ. Ser. Physics. 40, 99-102
- [8] Golis E. P., Ingram A., (2007), *Investigations of magneto-optic properties in PbO-Bi₂O₃-GeO₂ glass system*, Journal of Physics, Conference Series, 79, 012003-012003