

Lucjan KOZIELSKI

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk
Stosowanych, ul. Rolna 43, Katowice; e-mail: Lucjan.kozielski@wst.com.pl

TRANSFORMATOROWY CZUJNIK OŚWIETLENIA

s. 137-143

STRESZCZENIE

Materiały inteligentne to materiały wykazujące samoistną odpowiedź na zewnętrzny czynnik pobudzający, w związku z tym w naturalny sposób nadające się do aplikacji czujnikowych. Materiały, wykazujące jednocześnie właściwości fotowoltaiczne i piezoelektryczne, poddane działaniu zewnętrznego oświetlenia zamieniają część energii iluminacji na energię pola elektrycznego, wywołując dodatkową polaryzację elektryczną. W następstwie tego efektu następuje generacja napięcia na elektrodach użytego kompozytu, a pomiary współczynników przetwarzania energii i specyficznego efektu fotowoltaicznego (ang. anomalous photovoltaic effect APE) przeprowadza się metodą dynamiczną lub statyczną (ładunkową). W artykule została zaproponowana innowacyjna metoda wykorzystania, wyżej wymienionego efektu, do aplikacji czujnikowych przez implementację materiału inteligentnego w strukturę transformatora piezoelektrycznego, w celu uzyskania zmiany amplitudy i fazy napięcia wyjściowego w odpowiedzi na pobudzenie sygnałem świetlnym.

SŁOWA KLUCZOWE

czujnik oświetlenia, transformator piezoelektryczny, automatyka inteligentnego budynku

WSTĘP

Obecność sprzężenia fotowoltaiczno-piezoelektrycznego i wielkość napięcia zależy od chemicznej kompozycji materiału, jego struktury i mikrostruktury oraz geometrii wytworzonego przetwornika. Praktycznym zastosowaniem materiałów wykazujących sprzężenie fotowoltaiczno-piezoelektryczne są inteligentne sensory i czujniki światła, wykorzystujące w swej zasadzie działanie dynamiczną detekcję sygnałów w zakresie częstotliwości optycznych [1]. Proponowane w artykule rozwiązanie bazuje na rezonansowym transformatorze piezoelektrycznym. Wykorzystanie w sensoryce rezonansu mechanicznych układów drgających ma przed sobą duże możliwości. Wynikają one między innymi z tego, że mechaniczne układy drgające mają znacznie lepszą dobroć niż rezonansowe obwody elektryczne. I tak np. w paśmie częstotliwości rezonansowych dobroć obwodów elektrycznych najczęściej zawiera się w przedziale od 50 do 180, a otrzymanie dobroci około 300 związane już jest z nadzwyczaj dużymi trudnościami, natomiast mechaniczne rezonatory piezoelektryczne mają z reguły dobroć od 1000 do 10000 [2]. Tak duże wartości dobroci tych rezonatorów pozwalają traktować te elementy jako praktycznie bezstratne i konstruować z nich czujniki o charakterystykach zbliżonych do idealnych [3].

W omawianych materiałach, jak już wspomniano na wstępie, wykorzystywane jest sprzężenie fotowoltaiczno-piezoelektryczne. Sam efekt fotowoltaiczny anormalny (ang.

anomalous photovoltaic effect APE) polega na zmianie parametrów elektrycznych materiału pod wpływem skoku natężenia światła i jest samoistną właściwością materiału [4].

Jest to rodzaj efektu fotowoltaicznego, który występuje w niektórych półprzewodnikach i izolatorach. „Anormalny” odnosi się do przypadku, gdy wyidukowane napięcie (czyli napięcie w obwodzie otwartym wywołane światłem) jest większe niż przerwa energetyczna półprzewodnika. W niektórych przypadkach, napięcie może osiągnąć nawet kilka tysięcy woltów.

Istnieje kilka sytuacji, w których APE może wystąpić:

I. Po pierwsze, w materiałach polikrystalicznych, gdzie każde z mikroskopowych ziaren może działać jako ogniwo fotowoltaiczne. Połączenie szeregowo takich ogniw powoduje, że całkowite napięcie obwodu otwartego w całej próbce jest duże i może być znacznie większe niż pasmo wzbronione.

II. Po drugie, w podobny sposób, niektóre materiały ferroelektryczne w których ten efekt również występuje, mogą szeregowo łączyć obszary spolaryzowanych domen ferroelektrycznych, tak że całkowite napięcie w obwodzie otwartym jest duże [5].

III. Po trzecie, idealne monokryształy z niecentrosymetryczną strukturą mogą rozwijać gigantyczne foto indukowane napięcia. Ten efekt jest również zwany jako efekt fotowoltaiczny masowy (ang. bulk photovoltaic effect) i występuje z powodu braku centrosymetryczności, która jest nieodzownym warunkiem efektu piezoelektrycznego.

Niestety, mimo że wartość napięcia jest niezwykle wysoka, prąd zwarcia jest niezwykle niski, co powoduje że materiały, które wykazują APE mają bardzo niskie sprawności wytwarzania energii i do tej pory nie były używane w systemach czujnikowych, a eksperyment przeprowadzony i opisany poniżej jest jedną z pierwszych prób zbudowania aplikacji praktycznej.

Należy dodać, iż ze względu na fakt, że oświetlany materiał jest jednocześnie fotowoltaiczny i piezoelektryczny, czyli multifunkcyjny uzyskujemy unikalne sprzężenie obu efektów w jednym materiale. Natura wymienionego zjawiska leży w sprzężeniu pola elektrycznego pochodzącego od wygenerowanych przez padające fotony, o odpowiedniej energii elektronów i dziur i wektora polaryzacji wymuszonej obecnej w materiale piezoelektrycznym. W materiałach o dużej anizotropii krystalicznej, moment wektora polaryzacji jest sprzężony z siecią krystaliczną, w związku z tym uzyskuje się w tych materiałach nawet niewielką zmianę wymiarów liniowych materiału poddane go iluminacji – fotostrykcja (ang. photostriction) [6]. W materiałach fotostrykcyjnych występuje jeszcze szereg innych zjawisk, jak efekt zmiany modułu Younga, proporcjonalny do zmiany natężenia oświetlenia i właśnie zjawisko to zostało zastosowane w konstrukcji badanego transformatorowego rezonansowego czujnika światła. Oryginalnym zastosowaniem autora jest dyskowy wariant konstrukcyjny takiego urządzenia poprzez jego zaimplementowanie w transformatorze piezoelektrycznym zdolnym do odpowiedzi na zmianę natężenia światła generowanej w postaci zmiany amplitudy i fazy użytego sygnału napięciowego. Dynamiczna zmiana modułu Younga w badanym materiale w części fotowoltaicznej transformatora, powoduje zmianę amplitudy i częstotliwości generowanego napięcia elektrycznego w części piezoelektrycznej. Przewagą konstrukcji transformatorowej jest fakt, że jest to napięcie o amplitudzie na poziomie mV w związku z czym nie jest wymagane dodatkowe zastosowanie wzmacniacza ładunku, zanim zostanie ono zarejestrowane w komputerze.

2. Część eksperymentalna

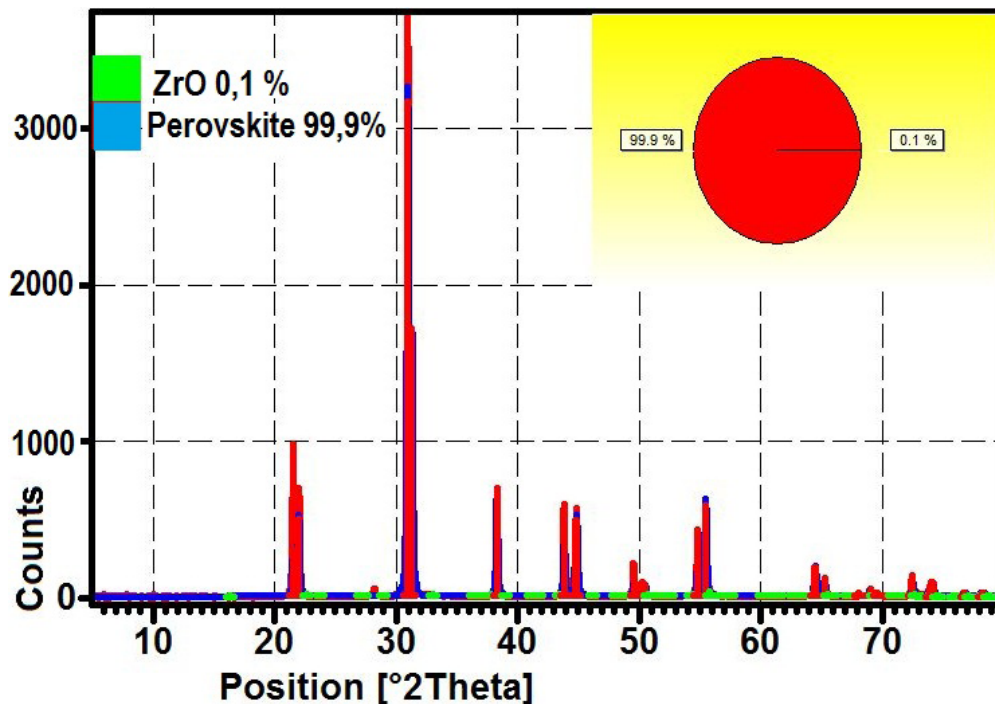
W ramach eksperymentu otrzymano piezoelektryczno-fotowoltaiczny materiał ceramiczny $(\text{Pb}_{0,93}\text{La}_{0,07})(\text{Zr}_{0,65}\text{Ti}_{0,35})\text{O}_3$ zwany PLZT, klasyczną metodą z wysokotemperaturowej syntezy tlenków (ang. mixed oxide method MOM). Technologia tego materiału była szeroko dyskutowana w pracach Gene H. Haertlinga [7-9], dlatego też w niniejszym artykule opis poszczególnych etapów technologii jest bardzo skrótowy. Użyte składniki wyjściowe to tlenki PbO , ZrO_2 , TiO_2 i La_2O_3 , a etapy technologiczne to mieszanie tlenków na mokro, suszenie i przesiewanie, kalcynacja mieszaniny proszków w 950°C przez 3 h, a następnie prasowanie zsyntetyzowanego proszku w formie dysków oraz ich finalne spiekanie w 1250°C przez 2 h.

Po procesie spiekania próbki szlifowano i przeprowadzono obserwację jakości mikrostruktury napylając na badaną powierzchnię ciekłą warstwę węgla z użyciem mikroskopu skaningowego SEM z emisją polową (HITACHI S-4700). Na rysunku 1 została przedstawiona mikrofotografia wypolerowanej powierzchni ceramiki potwierdzając otrzymanie dobrej jakości monolitycznego spieku o małej porowatości.



Rys. 1. Mikrofotografia SEM wypolerowanej ceramiki PLZT 7/65/35

Po wykonaniu zgładów otrzymaną serię próbek poddano badaniom metodami dyfrakcji rentgenowskiej XRD w celu potwierdzenia otrzymania niecentrosymetrycznej struktury perowskitowej. Stwierdzono (Rys. 2) dobre dopasowaniem rentgenowskiego widma eksperymentalnego do widma teoretycznego struktury perowskitu i obecność wszystkich charakterystycznych maksimów wzorcowego widma rentgenowskiego w zarejestrowanym spektrum rentgenograficznym.

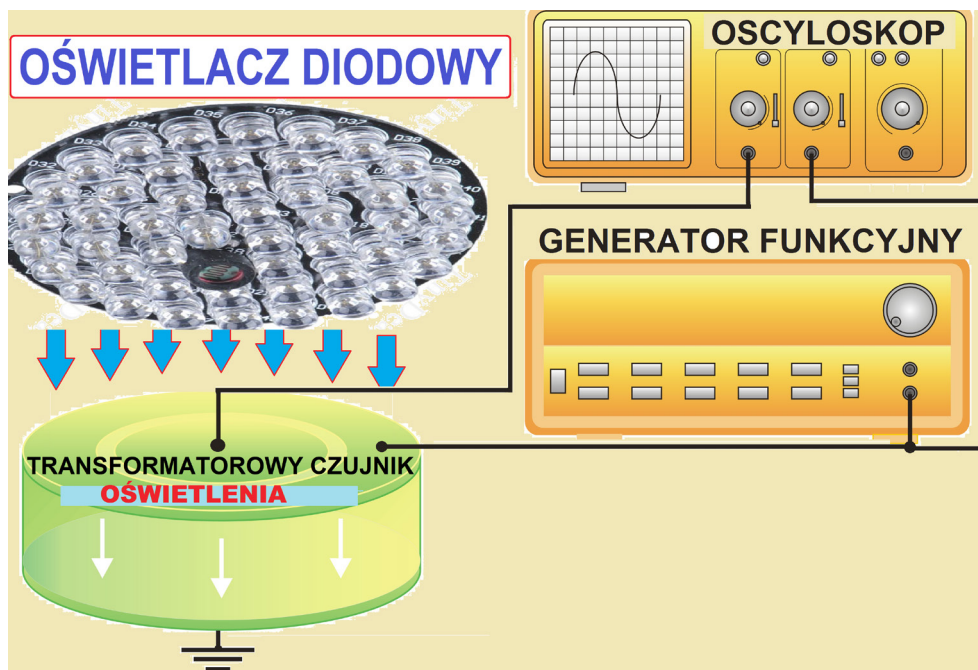


Rys. 2. Eksperymentalny dyfraktogram rentgenowski dla syntetyzowanej z tlenków ceramiki PLZT 7/65/35 z nałożonymi maksimami wzorca, wraz z graficznym przedstawieniem wyniku dopasowania obu struktur.

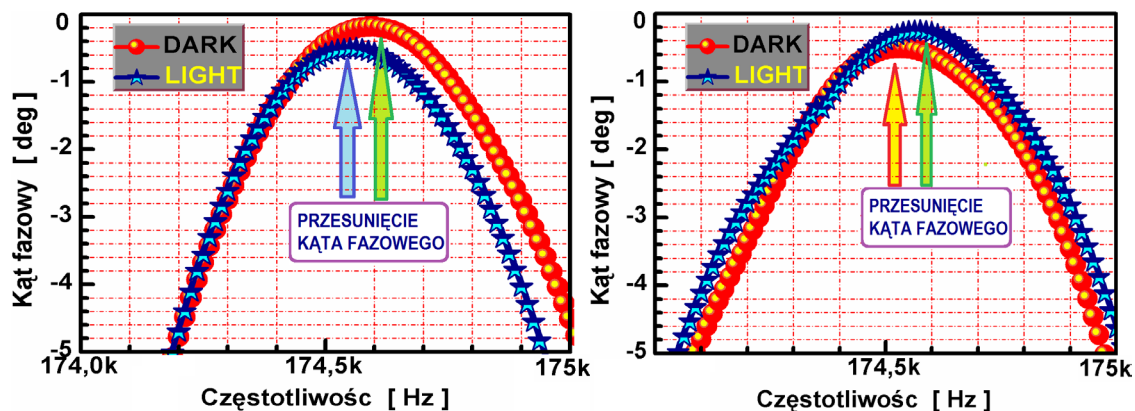
W kolejnym etapie eksperymentu na powierzchni próbek nakładano elektrody tworząc strukturę pierścieniową transformatora piezoelektrycznego, składającego się z elektrody zewnętrznej i środkowej oraz wspólnej elektrody na dolnej powierzchni transformatora. Struktura taka określana jest w literaturze angielskojęzycznej jako struktura Ring-Dot. Wymienione elektrody naniesiono metodą sitodruku, a następnie poddano procesowi wypalania organicznych składników pasty srebrnej w temperaturze 800°C przez 15 min. Schemat elektryczny stanowiska pomiarowego do wyznaczania zmiany napięcia wyjściowego transformatora fotowoltaiczno piezoelektrycznego na pobudzenie światłem oświetlacza diodowego składającego się z 7 diod UV LED (ELFA 260019 series, 370 nm wavelength, 1 mW optical power) przedstawia rysunek 3. Układ pomiarowy składa się z generatora funkcyjnego HM 1831 oraz oscyloskopu HM 2008 firmy Hameg.

Eksperyment przeprowadzono w dwóch wariantach konfiguracyjnych w celu wyznaczenia najbardziej czułej na zmiany oświetlenia struktury:

I. W pierwszym wariantcie z generatora została zasilana zewnętrzna sekcja transformatora a sygnał wyjściowy mierzony za pomocą oscyloskopu był pobierany z sekcji środkowej
 II. W drugim wariantcie zasilana z generatora została środkowa sekcja transformatora a sygnał wyjściowy mierzony za pomocą oscyloskopu był pobierany z sekcji zewnętrznej
 Na podstawie zarejestrowanych przebiegów zamieszczonych na rysunkach 4 i 5 można stwierdzić, że fotowoltaiczno piezoelektryczna ceramika PLZT 7/65/35 wykazuje niewielką, jednak wyraźnie widoczną zależność parametrów wyjściowych w zależności od oświetlenia. Ta różnica jest bardziej widoczna na wykresach fazy napięcia wyjściowego w obu wariantach konfiguracyjnych układu pomiarowego (Rys. 4a i b) w porównaniu z zarejestrowanymi zmianami amplitudy przedstawionymi na Rys. 5a i b. W związku z tym praktyczna aplikacja tego materiału do czujników pomiarowych powinna opierać się na detekcji fazoczułej.

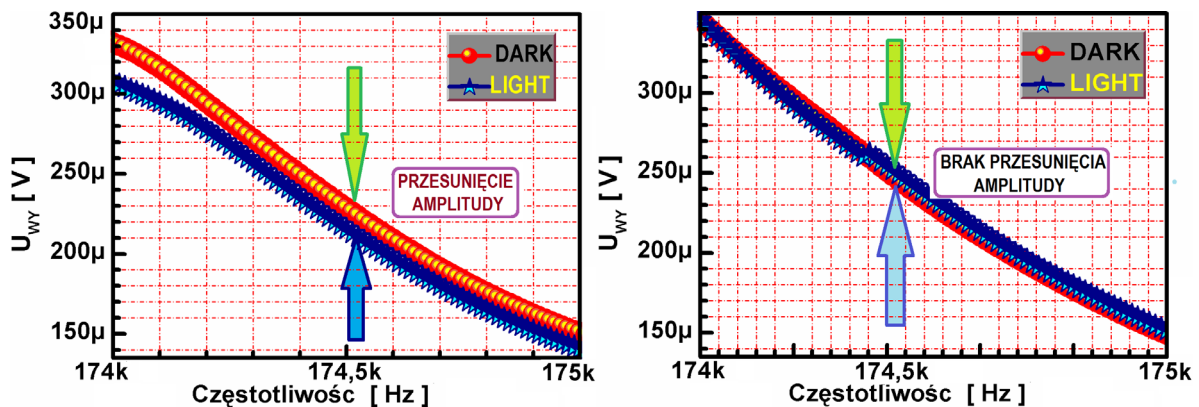


Rys. 3. Schemat elektryczny stanowiska pomiarowego do wyznaczania zmiany napięcia wyjściowego transformatora fotowoltaiczno piezoelektrycznego



Rys. 4. Zależności kąta fazowego napięcia wyjściowego w zależności od oświetlenia dla ceramiki PLZT 7/65/35w pierwszym wariantcie, gdy z generatora została zasilana zewnętrzna sekcja transformatora (a) oraz w drugim wariantcie, gdy z generatora została zasilana środkowa sekcja transformatora (b).

Jak już wspomniano powyżej eksperyment przeprowadzono w dwóch wariantach konfiguracyjnych: w pierwszym wariantcie z generatora została zasilana zewnętrzna sekcja transformatora, a sygnał wyjściowy mierzony za pomocą oscyloskopu był pobierany z sekcji środkowej. W drugim wariantcie zasilana z generatora została środkowa sekcja transformatora, a sygnał wyjściowy mierzony za pomocą oscyloskopu był pobierany z sekcji zewnętrznej. Finalnie zdecydowanie silniejsze zmiany sygnału amplitudy i fazy zostały zarejestrowane w pierwszym wariantcie zasilania gdy do generatora została podłączona zewnętrzna sekcja transformatora (Rys. 5 a i b).



Rys. 5. Zależności amplitudy napięcia wyjściowego w zależności od oświetlenia dla ceramiki PLZT 7/65/35 w pierwszym wariancie gdy z generatora została zasilana zewnętrzna sekcja transformatora (a) oraz w drugim wariancie gdy z generatora została zasilana środkowa sekcja transformatora (b).

3. Wnioski

Na podstawie zarejestrowanych przebiegów zamieszczonych można stwierdzić, że fotowoltaiczno piezoelektryczna ceramika PLZT 7/65/35 wykazuje niewielką, jednak wyraźnie widoczną zależność parametrów wyjściowych w zależności od oświetlenia. Ta różnica jest bardziej widoczna na wykresach fazy napięcia wyjściowego w porównaniu z zarejestrowanymi zmianami amplitudy. Finalnym wnioskiem aplikacyjnym jest stwierdzenie, że pomiar powinien opierać się na detekcji fazoczułej w konfiguracji układu pomiarowego, gdy do generatora została podłączona zewnętrzna sekcja transformatora.

Część badawcza w artykule została przeprowadzona w laboratoriach Parku Naukowo-Technologicznego Silesia Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach.

Bibliografia

- [1] Fridkin V.M., Popov B.N.: Anomalous photovoltaic effect in ferroelectrics. Soviet Physics Uspekhi 1978, Vol. 21, pp. 981- 991.
- [2] Takenaka T., Nagata H.: Current status and prospects of lead-free piezoelectric ceramics. Journal of the European Ceramic Society 2005, 25, pp. 2693–2700.
- [3] Foryś A., Foryś A.S.: Analiza układów nanomechanicznych w stanach rezonansowych ze względu na stateczność. Czasopismo Techniczne. Nauk. Podst. 1-NP/2011, z. 22, s. 95-102.
- [4] Fridkin V. M.: Bulk photovoltaic effect in noncentrosymmetric crystals. Crystallography Reports 2001, 46, pp. 654-658.
- [5] Yang S. Y., Seidel J., Byrnes S.J., Shafer P., Yang C.-H., Rossell M., Yu P. Chu Y.-H., Scott J. F., Ager J.W., Martin L.W., Ramesh R.: Above-bandgap voltages from ferroelectric photovoltaic devices. Nature Nanotechnology 2010, 5, pp. 143-148.
- [6] Chu S., Ye Z., Uchino K.: Impurity Doping Effect on Photostriction in PLZT Ceramics. Advanced Performance Materials, 1994, vol.1, pp. 129-143.
- [7] Haertling Gene H., Land C.E.: Hot-Pressed (Pb,La)(Zr,Ti)O3 Ferroelectric Ceramics for Electrooptic Applications. Journal of the American Ceramic Society 1971, 5, pp. 1-11.
- [8] Haertling Gene H., Land C.E.: Recent improvements in the optical and electrooptic properties of plzt ceramics. Ferroelectrics 1972, vol. 3, pp. 269-280.
- [9] Haertling Gene H.: PLZT electrooptic materials and applications—a review. Ferroelectrics 1987, vol.75, pp. 25 -55.

LIGHT TRANSFORMER SENSOR

ABSTRACT

Smart materials are materials having an intrinsic response to an external stimulating factor, therefore are naturally suited for sensor applications. Materials exhibiting photovoltaic and piezoelectric properties at the same time exposed to external illumination convert part of the illumination energy into energy of the electric field, causing additional electrical polarization. As a consequence of this effect occurs generation of voltage on the used composite electrodes and measurement of energy conversion factors of this anomalous photovoltaic effect (APE) is carried out using a dynamic or static method (charge loading). The article proposed an innovative method to use the above-mentioned effect for sensor applications by implementation of a smart material in the structure of the piezoelectric transformer in order to change the amplitude and phase of the output voltage in response to stimulation by a light signal.

KEYWORDS

ambient light sensor, piezoelectric transformer, intelligent building automation