

ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Nanogeneratory – ich rodzaje, budowa oraz zastosowanie

W. Jąkałski^a, A. Pęciak^a, M. Siuda^a, K. Szindler^a, T. Tański^b

^a Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: Karol.Szindler@gmail.com

^b Dr hab. inż., prof. Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych,
email: Tomasz.tanski@polsl.pl

Streszczenie: Ciągły wzrost zapotrzebowania ludzkości na energię elektryczną prowadzi do wzmożonych prac naukowców w wielu dziedzinach związanych z otrzymywaniem i magazynowaniem energii. Oprócz rozwoju wielu „zielonych” gałęzi energetyki takich jak energia wiatrowa, wodna, solarna, czy prac nad sposobami magazynowania uzyskanej w ten sposób energii, równoległe prowadzone są prace nad odzyskiwaniem energii wytwarzanej podczas codziennych czynności jak na przykład chodzenie czy pisanie. Energia pochodząca z takich nanogeneratorów może pomagać w zasilaniu nano- i mikro- urządzeń np. elektroniki ubieralnej (elektroniki którą można umieścić w ciuchach, obuwiu, dodatkach itp.). Praca zawiera najważniejsze informacje dotyczące nanogeneratorów, opisuje rodzaje, zalety i możliwości wykorzystania nanogeneratorów, a także związane z tym kłopoty oraz problemy w procesie wytwarzania.

Abstract: The paper presents the problem of nano-generators, their types and usable in daily life.

Słowa kluczowe: Nanogeneratory, rodzaje nanogeneratorów, budowa nanogeneratorów, zastosowanie nanogeneratorów.

1. WPROWADZENIE

Najważniejszym celem współczesnego zrównoważonego rozwoju ludzkiej cywilizacji jest znalezienie odnawialnych, trwałych oraz ekologicznych źródeł energii. Współcześnie podejmowane są badania w celu znalezienia alternatywnych źródeł energii dla paliw kopalnianych oraz energii atomowej, rozwijana jest energia słoneczna, geotermalna oraz wiatrowa. Ważnym aspektem rozwoju pozyskiwania energii jest również uzyskanie jej w mniejszej skali dla biosensorów, wrażliwych czujników chemicznych, systemów mikroelektromechanicznych, nanorobotów oraz przenośnej elektroniki osobistej. Czynniki te pociągają za sobą konieczność rozwoju dalszego obszaru nanotechnologii, która umożliwi

nam pozyskanie energii ze środowiska, gdyż jest to kluczowy krok w kierunku niezależnych samo-zasilających nanosystemów, działających przy niewielkich mocach [1, 2, 3].

2. DEFINICJE ORAZ ZAGADNIENIA

Nanogeneratorem nazywamy każde urządzenie w nanoskali zdolne do generowania energii. Zazwyczaj ma ono wymiary mniejsze niż jeden mikron, jednak w praktyce odnosi się także do generatorów wielkości nawet dwóch milimetrów. Nanogeneratorem można również określić generator, który wykorzystuje części urządzenia w nanoskali, takie jak nanodruty, do wytwarzania energii elektrycznej. Nanogeneratory to technologia przetwarzająca energię mechaniczną lub cieplną, produkowaną na małą skalę, na energię elektryczną.

Występują trzy rodzaje nanogeneratorów:

- piezoelektryczne,
- tryboelektryczne
- piroelektryczne.

Nanogeneratory piezo- i tryboelektryczne potrafią przekonwertować energię mechaniczną na elektryczną, podczas gdy piroelektryczne mogą być wykorzystane do pobierania energii cieplnej z wahań temperatury [4].

Wykorzystanie nanogeneratorów niesie ze sobą ogromne możliwości. Pobieranie energii z otoczenia ma działać się automatycznie, a nawet najmniejszy ruch lub wibracja taka jak lekki wiatr czy ludzkie tętno, może zapewnić wystarczającą ilość energii dla tych urządzeń. Możliwości poboru energii jest bardzo wiele - od chodzenia (rozpatrywanego w naszym przypadku jako uderzenia stóp o podłoże), przez dźwięk, aż po ciepło naszego ciała. Według badaczy, mikroskopijne generatory mogą w przyszłości być wykorzystane do zasilania diagnostycznych nanorobotów pływających w krwi pacjenta. Mają również inne potencjalne zastosowania, takie jak przenośne urządzenia elektroniczne i czujniki na tkaninach elastycznych albo pozyskiwanie energii z ruchu drogowego przez wbudowanie dużych płacht generatorów w asfalt [5].

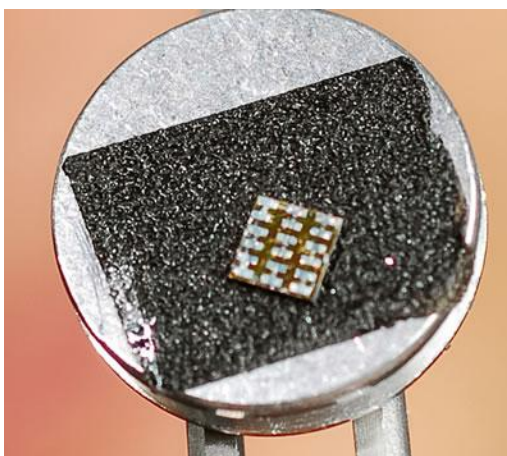
3. RYS HISTORYCZNY

Współcześnie, pomimo zapotrzebowania energetycznego na dużą skalę, rozwijany jest także obszar nanoenergii, która ma na celu pozyskiwanie energii przy użyciu nanotechnologii. Jest ona niezbędna do niezależnej oraz bezobsługowej pracy mikro- i nano- systemów, a także mobilnej elektroniki. W 2006 roku prof. Zhong Lin Wang prawdopodobnie po raz pierwszy przedstawił pomysł nanogeneratorów wykorzystujących piezo-, trybo- i piroelektryczność i od tego czasu zintensyfikowano badania nad systemami z własnym zasilaniem. Celem badań było stworzenie samozasilającego się systemu wykorzystującego energię wytwarzaną przez środowisko oraz organizmy w nim żyjące [4].

Samodzielne zasilanie to nowy cel w nanotechnologii i energii odnawialnej, które pozwoli na osiągnięcie stabilnych, samowystarczalnych mikro/nano-systemów, mających zasadnicze znaczenie dla medycyny, sensorów wykorzystywanych w technologii, monitorowania środowiska, czy osobistych urządzeń elektronicznych [5].

Pionierem technologii wykorzystywanej w nanogeneratorach jest Zhong Lin Wang z Georgia Technology Institute. Zespół Wanga stworzył Nanogeneratory zdolne do

wytwarzania energii o napięciu 3V i natężeniu 300 nA (rys. 1). Nanogenerator o takich parametrach może zasilić niewielkie wyświetlacze ciekłokrystaliczne, diod LED jak i również diody laserowe. Nanogeneratory charakteryzują się mniejszą wydajnością od np. baterii słonecznych, lecz jak uważa Lin Wang, słońce nie zawsze jest dostępne, w takich miejscach pole do popisu posiadają systemy hybrydowe. Wydajność urządzenia można łatwo zwiększać poprzez dodanie kolejnych nanogeneratorów. Hybrydowe nanogeneratory Lin Wanga po raz pierwszy zostaną zastosowane w amerykańskim lotnictwie wojskowym. Badania nad hybrydowymi systemami wykorzystującymi nanogeneratory trwają cały czas i, jak donoszą naukowcy, można zaobserwować znaczny postęp oraz można się spodziewać wdrożenia tej technologii do życia codziennego już za parę lat [6, 7].



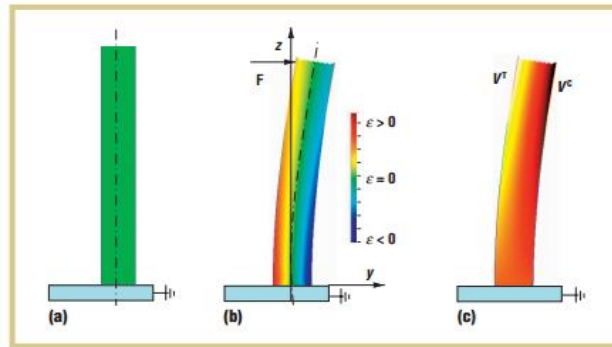
Rys. 1. Prototyp nanogenerators opracowany przez zespół Prof. Zhong Lin Wang [7]

4. CHARAKTERYSTYKA NANOGENERATORÓW

Nanogeneratory ze względu na źródło pobieranej energii dzielą się na: piezoelektryczne, tryboelektryczne, piroelektryczne oraz hybrydowe [1].

4.1. Nanogeneratory piezoelektryczne

Energia jest uzyskiwana poprzez przekształcenie zewnętrznej energii kinetycznej na energię elektryczną wskutek konwersji energii poprzez piezoelektryczny materiał nanostrukturalny. W tego typu nanogeneratorach występuje efekt piezoelektryczny, czyli zjawisko fizyczne polegające na mechanicznej deformacji kryształu pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego oraz na powstawaniu na przeciwległych ścianach kryształów ładunków elektrycznych przeciwnego znaku w wyniku deformacji kryształu (rys. 2) [1].



Rys. 2. Tworzenie i rozprzestrzenienie ładunków w nanodrucie [2]: (a) schematyczne przedstawienie drutu; (b) rozmieszczenie naprężeń wzdłużnych ϵ w nanodrucie po odgięciu przez końcówkę mikroskopu sił atomowych (ATM); (c) potencjalnie rozmieszczenie ładunku spowodowane występowaniem efektu piezoelektrycznego

Działanie nanogeneratorów piezoelektrycznych można wyjaśnić dla dwóch przypadków: pierwszy występuje wtedy, gdy siła wywierana jest prostopadle do osi nanodrutu, drugi gdy wywierana siła jest równoległa do osi nanodrutu. Pierwszy przypadek występuje w sytuacji, gdy końcówka pionowego nanodrutu poddawana jest ruchom poprzecznym. W momencie gdy struktura piezoelektryczna poddawana jest działaniu siły zewnętrznej, poprzez ruchomą końcówkę, odkształcenie następuje w całej strukturze. Efekt piezoelektryczny tworzy pole elektryczne w całej nanostrukturze. Część nanostruktury, w której występują naprężenia rozciągające, wykazuje dodatni potencjał elektryczny, natomiast część w której występują naprężenia ściskające wykazuje ujemny potencjał elektryczny. Spowodowane jest to przemieszczaniem się kationów względem anionów w strukturze krystalicznej. W rezultacie na końcówce nanodrutu rozkład potencjału elektrycznego następuje na powierzchni, natomiast dolna część nanodrutu jest obojętna, ponieważ zostaje uziemiona. Maksymalne napięcie generowane na nanodrucie można obliczyć za pomocą następującego równania (1) [2]:

$$V_{\max} = \pm \frac{3}{4(\kappa_0 + \kappa)} [e_{33} - 2(1 + \nu)e_{15} - 2\nu e_{31}] \frac{a^3}{l^3} \nu_{\max} \quad (1)$$

gdzie:

- κ_0 - przenikalność elektryczna w próżni,
- κ - stała dielektryczna,
- e_{33} , e_{15} i e_{31} - współczynniki piezoelektryczne
- ν - współczynnik Poissona
- a - promień nanodrutu,
- l - długość nanodrutu
- ν_{\max} - maksymalne ugięcie końcówki nanodrutu

Ważną rolę w transporcie ładunków na powierzchnię nanodrutów odgrywa styk elektryczny. Pomiędzy przeciwelektrodą i końcówką nanodrutu musi zostać wytworzone złącze Schottky'ego, ponieważ styk omowy zubożnia pole elektryczne powstające na końcówce nanodrutu. Aby wytworzyć skuteczny styk Schottky'ego, powinowactwo

elektronowe (E_a) musi być mniejsze niż funkcja robocza (ϕ) metalu tworzącego przeciwelektrodę. W przypadku nanodrutu ZnO powinowactwo elektronowe wynosi 4,5 eV, platyna ($\phi = 6.1\text{eV}$) jest więc odpowiednim metalem do wytworzenia złącza Schottky'ego. Dzięki złączu elektrony przechodzą do przeciwelektrody z powierzchni końcówki nanodrutu, gdy przeciwelektroda jest w kontakcie z obszarami o potencjale ujemnym, natomiast prąd nie jest generowany, gdy przeciwelektroda nie jest w kontakcie z obszarem o potencjale dodatnim. W konsekwencji utworzenie złącza Schottky'ego przyczynia się również do generowania sygnału wyjściowego prądu stałego [2].

W przypadku drugim rozważono model, gdzie pionowo umieszczony nanodrut znajduje się nad stykiem omowym od dołu, a stykiem Schottky'ego od góry. Gdy siła przykładana jest w kierunku końcówki nanodrutu, powstają jednoosiowe naprężenia ściskające. Na skutek występowania efektu piezoelektrycznego, wierzchołek nanodrutu będzie mieć ujemny potencjał piezoelektryczny, zwiększając przy tym poziom Fermiego (najmniejsza energia o jaką zwiększy się energia układu fermionów po dodaniu jeszcze jednego elementu) na końcu nanodrutu. Ponieważ elektrony przepłyną z wierzchołka na dół przez obwód zewnętrzny, zostanie wygenerowany dodatni potencjał elektryczny, a zatem utrzymany zostanie potencjał na końcówce. Kiedy działanie siły zostanie wstrzymane, efekt piezoelektryczny zmniejsza się i elektrony z powrotem przepływają do góry druta w celu zneutralizowania potencjału dodatniego w końcówce. Drugi przypadek generuje sygnał wyjściowy prądu zmiennego [2].

Wiele badań skupiło się na materiałach o strukturze wurcytu, m.in. na tlenku cynku, siarczku kadamu oraz azotku glinu. Największą zaletą materiałów o takiej strukturze jest ich łatwa i opłacalna technika wytwarzania poprzez syntezę hydrotermalną. Syntezę hydrotermalną przeprowadza się w temperaturze poniżej 100°C , umożliwia to wytwarzanie materiałów na różnych podłożach. Dzięki temu nie trzeba obawiać się o właściwości fizyczne, takie jak temperatura topnienia.

W celu zwiększenia piezoelektryczności pojedynczego nanodrutu, badania doprowadziły do rozwoju innych materiałów piezoelektrycznych opierających się na strukturze wurcytu. Profesor Zhong Lin Wang z Georgia Institute of Technology wprowadził nanodrutu ZnO typu p [1, 2, 4].

Ruchoma cząstka typu p, w przeciwieństwie do półprzewodnikowej nanostruktury typu n, jest dziurą elektronową, w skutek czego zachowanie Schottky'ego jest przeciwne w stosunku do zachowania nanostruktury typu n. Sygnał elektryczny generowany jest od części nanostruktury w której gromadzone są dziury. Doświadczalnie udowodniono, że nanodrutu ZnO typu p mogą generować sygnał wyjściowy około 10 razy większy niż nanodrutu ZnO typu n [4].

Udowodniono również, iż materiały o strukturze perowskitu mają bardziej efektywne cechy piezoelektryczne w stosunku do materiałów o strukturze wurcytu. Nanodrutu tytanianu baru (BaTiO_3) zostały zbadane przez profesora Min-Feng Yu z University of Illinois w Urbana Champaign. Wyniki badań wykazały, że ich sygnał wyjściowy jest ponad 16 razy większy niż podobnego nanodrutu ZnO [4].

Profesor Liwei Lin z University of California w Berkeley zasugerował również, że do wytwarzania nanogeneratorów piezoelektrycznych można zastosować polimer PVDF (Polifluorek winylidenu), gdzie wytwarzanie zachodzi dzięki wykorzystaniu metody elektroprzędzenia [4].

W tabeli (Tab. 1.) znajduje się porównanie poszczególnych materiałów przeznaczonych do wytwarzania nanogeneratorów piezoelektrycznych [10].

Tab. 1. Porównanie własności poszczególnych materiałów na nanogeneratory[10]

Material	Typ/struktura	Wymiary	Napięcie wyjściowe	Moc wyjściowa	Wytwarzanie
ZnO typu n	Wurcyt	średnica: 100 nm długość: 200- 500 nm	U= 9 mV R=500 M Ω	0.5 pW na cykl (oszacowane)	CVD, procesy hydrotermalne
ZnO typu p	Wurcyt	średnica: 50 nm długość: 600nm	U=50-90 mV R=500 M Ω	5-16.2 pW na cykl (obliczone)	CVD
ZnO- ZnS	Wurcyt (heterostruktu- ra)	nie podano	U=6 mV R=500 M Ω	0.1 pW na cykl (obliczone)	Odparowanie termiczne i trawienie
GaN	Wurcyt	średnica: 25- 70 nm długość: 10- 20 μ m	U=20 mV R=500 M Ω	0.8 pW na cykl (średnia, obliczone)	CVD
CdS	Wurcyt	średnica: 100 nm długość: 1 μ m	U=3 mV	nie podano	PVD, procesy hydrotermalne
BaTiO ₃	Perowskit	średnica: 280 nm długość: 15 μ m	U=25 mV R=100 M Ω	0.3 aJ na cykl (potwierdzono)	Wysokotemperaturowe reakcje chemiczne
PVDF	Polimer	średnica: 0,5- 6,5 μ m długość: 0,1- 0,6 mm	U=530 mV	2.5- 90 pW na cykl (obliczono)	Metoda elektroprzędzenia

Nanogeneratory piezoelektryczne można podzielić ze względu na ich strukturę. Poniżej opisano występujące ich trzy rodzaje [2].

4.2. Vertical nanowire Integrated Nanogenerator (VING)

Nanogeneratory typu VING posiadają układ 3-wymiarowy i zbudowane są z 3 warstw: elektrody bazowej, pionowej nanostruktury piezoelektrycznej oraz przeciwelektrody. Nanogeneratory tego typu zostały stworzone przez Zhong Lin Wanga z Georgia Institute of Technology w 2006 roku. Nanogeneratory te zdolne są do zasilania konwencjonalnych urządzeń elektronicznych. VING zbudowane są z materiałów piezoelektrycznych, takich jak tlenek cynku. Pod wpływem ruchu uginają się i prostują, generując przy tym energię elektryczną. Nanogeneratory VING potrafią wytworzyć energię o napięciu 3V oraz natężeniu 300 nA. Pierwsze nanogeneratory z tlenku cynku uzyskano przez hodowanie nanodrutów na sztywnym podłożu i dołączanie do nich metalowych elektrod. Aktualnie nanogeneratory zbudowane są z polimerów co ułatwiło ich produkcję. Nanodruty hodowane są na substracie, a następnie są odcinane i umieszczane w roztworze alkoholu. Całość zostaje wysuszona na cienkiej, metalowej elektrodzie i cienkim kawałku elastycznego polimeru. Po wysuszeniu

pierwszej warstwy układane są na niej warstwy kolejne. Proces ten umożliwia produkcję wydajnych nanogeneratorów. Płytkę o wymiarach 2x1,5 cm pozwala na wytworzenie energii do zasilania wyświetlacza kalkulatora [2].

4.3. Lateral nanowire Integrated Nanogenerator (LING)

Nanogeneratory piezoelektryczne typu LING są to układy 2-wymiarowe, zbudowane z 3-części: elektrody bazowej, poprzecznej piezoelektrycznej nanostruktury oraz elektrody metalowej do kontaktu Schottky'ego. Często grubość warstwy podłoża jest znacznie grubsza niż średnica piezoelektrycznej nanostruktury, efektem tego poszczególne nanostruktury poddawane są działaniu odkształceniom rozciągającym. LING to rozbudowane generatory jednodrutowe (SWG). SWG są głównie konfiguracjami naukowymi służącymi do sprawdzenia zdolności wytwarzania energii elektrycznej przez materiały piezoelektryczne [2].

4.4. Nanocomposite Electrical Generators (NEG)

Nanogeneratory piezoelektryczne typu NEG to konfiguracje 3-wymiarowe składające się z 3-części: metalowej elektrody, pionowej piezoelektrycznej nanostruktury oraz matrycy polimerowej wypełniającej przestrzeń pomiędzy piezoelektryczną nanostrukturą. NEG posiadają większą wydajność od nanogeneratorów opartych na nanodrutach z ZnO wykorzystujących końcówkę AFM. Są również źródłem energii o większej trwałości [2].

Rokuje się iż nanogeneratory piezoelektryczne zostaną wykorzystane na szeroką skalę, w szczególności tam, gdzie występuje przepływ okresowej energii kinetycznej, od powiewu wiatru, ruchu fal – energia na dużą skalę, aż po ruch mięśni przez bicie serca czy też inhalację płuc – energia na skalę mniejszą. Energia ta może zostać wykorzystana w wielu urządzeniach np. nano – lub mikro urządzeniach z własnym, niezależnym lub dodatkowym zasilaniem. Zespół Prof. Wanga przeprowadził testy przedstawiające wykorzystanie nanogeneratorów jako źródło energii dla czujnika z napięciem wyjściowym 40mV. Jednak aktualnie zakres nanogeneratorów jest wciąż ograniczony ze względu na stosunkowo małą energię elektryczną, która jest odpowiednia jedynie dla urządzeń w skali nano bądź też mikro. Skuteczne zastosowanie nanogeneratorów może być również w inteligentnych systemach w formie ubrań wykonanych z włókien piezoelektrycznych, które mogą czerpać energię kinetyczną z ludzkiego ciała. Zgromadzona energia może być wykorzystana do zasilania małych przenośnych urządzeń elektronicznych, ale także jako systemy monitorujące stan zdrowia człowieka. Bardziej futurystyczną wizją jest stworzenie sztucznej skóry potrafiącej wytwarzać energię elektryczną. Aktualnie największe oczekiwania pokłada się w wykorzystaniu nanogeneratorów do stworzenia transparentnych, elastycznych urządzeń elektronicznych, gdyż nanogeneratory można stworzyć na organicznym przezroczystym podłożu. Cecha ta umożliwia wykorzystanie ich w samo-zasilających czujnikach dotykowych oraz energooszczędnych urządzeniach z ekranami dotykowymi. Prowadzone na tym obszarze badania skupiają się na zwiększeniu transparentności, elastyczności oraz kosztów, zastępując elektrodę z tlenku cyny oraz indu powłoką grafenową. Prace zespołu dr Jong Min Kima z Samsung Advanced Institute of Technology pozwoliły na stworzenie nanotechnologicznych generatorów prądu zmieniających energię dźwięku w prąd. Dzięki wykorzystaniu nanodrutów z tlenku cynku umieszczonych między podłożem z szafiru, a membraną z tworzywa sztucznego powlekaną palladem i złotem udało się przetworzyć dźwięk o natężeniu około 100 decybeli w 50 mV prądu zmiennego. W przyszłości daje to nadzieję iż będzie możliwe

stworzenie telefonów komórkowych, które będą w stanie pozyskiwać energię do ładowania podczas naszej rozmowy bądź też wytwarzanie energii elektrycznej przy wykorzystaniu ekranów akustycznych występujących przy drogach szybkiego ruchu oraz autostradach [1, 4].

4.5. Nanogeneratory tryboelektryczne

Zjawisko tryboelektryczności polega na powstawaniu ładunków elektrycznych poprzez tarcie równych ciał o siebie np. metalu o dielektryk. Generatory tryboelektryczne służą do przekształcania zewnętrznej energii mechanicznej na energię elektryczną wskutek występowania koniunkcji efektu tryboelektrycznego oraz indukcji elektrostatycznej. W tego typu nanogeneratorach w obwodzie wewnętrznym potencjał tworzony jest przez efekt tryboelektryczny powstający na skutek przeniesienia ładunku pomiędzy dwoma, cienkimi, organicznymi bądź też nieorganicznymi foliami wykorzystującymi przeciwne trybobiegunowości, gdy w obwodzie zewnętrznym elektrony napędzane są aby przepływać między dwiema elektrodami zamocowanymi na tylnych stronach folii w celu zrównoważenia potencjału. Aby transfer ładunku był jak najwyższy, pozycje materiałów w tzw. szeregu tryboelektrycznym muszą być jak najbardziej oddalone. Wielkość ładunku jest zależna od m.in. powierzchni kontaktu, szybkości rozdzielania materiałów jak i również od wilgotności otoczenia. Naukowcy wprowadzając modyfikację materiałów poprzez stworzenie nanostruktur, które zwiększyły powierzchnię styku, zwiększyli moc całkowitą urządzenia. Powierzchnia styku nanogeneratorów osiąga gęstość mocy 313W/m^2 , a wydajność konwersji wynosi 60%. Technologia ta ma wiele korzyści: niespotykaną moc wyjściową, niski koszt produkcji oraz wytwarzania, doskonała wytrzymałość, niezawodność oraz ekologiczna.

Nanogeneratory tryboelektryczne mogą znaleźć zastosowanie do różnego rodzaju przetwarzania energii mechanicznej, która jest powszechnie dostępna i jest niewykorzystywana w codziennym życiu, takich jak ruch, drgania, obrót (np. opon), przepływ wiatru oraz wody. Ogromną zaletą jest możliwość zastosowania szerokiego zakresu materiałów do stworzenia nanogeneratorów np. polimerów, tkanin a nawet papieru [1].

Nanogenerator tryboelektryczny posiada trzy podstawowe tryby pracy: tryb kontaktu przerywanego w płaszczyźnie pionowej (vertical contact-separation mode), tryb przesuwania w określonej płaszczyźnie (in-plane sliding mode) i tryb pojedynczej elektrody (single-electrode mode). Każda z tych metod posiada różne własności i znajdują one różne zastosowania. Nowatorska konstrukcja tych generatorów może zostać znakomitym, mobilnym źródłem zasilania dla odkrywców, ratowników oraz osób pracujących w terenie.

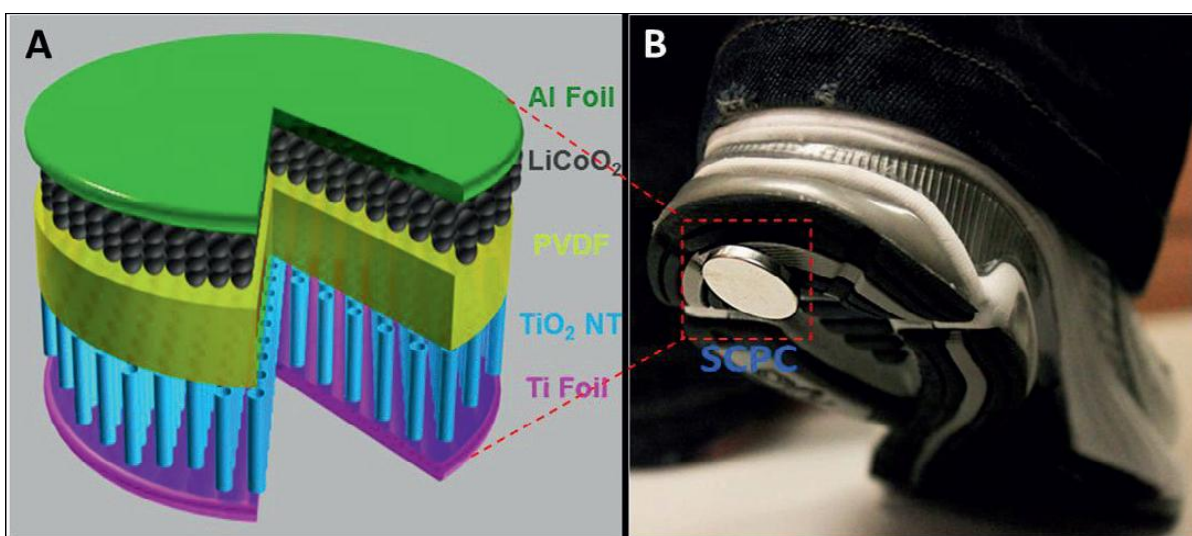
Spora energii mechanicznej generowanej w ludzkim ciele wynikającej z ruchu ciała, głosu, pocierania tkanin, umożliwi dzięki wykorzystaniu nanogeneratorów tryboelektrycznych przekształcenie jej w energię elektryczną a następnie wykorzystanie do ładowania przenośnej elektroniki bądź też urządzeń biomedycznych. Wykazano też, że możliwe jest zastosowanie nanogeneratorsa w formie wkładki do butów która umożliwi zbieranie energii z nacisku mechanicznego poprzez chód człowieka. Mogą również zostać przymocowane do wewnętrznej strony ubrań, w ten sposób pobierając energię z ruchu ciała. Dzięki nanogeneratorom tryboelektrycznym energia pobierana z organizmu człowieka może być bezpośrednio przetransportowana do czujnika biologicznego, który będzie czuwał nad zdrowiem użytkownika (wykrywanie glukozy, mierzenie poziomu bioaktywnych substancji chemicznych, ciśnienia tętniczego itp.) [1, 2].

4.6. Nanogeneratory piroelektryczne

Nanogeneratory piroelektryczne przekształcają zewnętrzną energię cieplną na energię elektryczną przy pomocy piroelektrycznych materiałów nanostrukturalnych. Piroelektryk to materiał, który posiada zdolność generowania siły elektromotorycznej pod wpływem zmian temperatury. Pobieranie energii termoelektrycznej opiera się na efekcie Seebecka. Polega on na wykorzystaniu różnicy temperatur pomiędzy dwoma końcami urządzenia, aby spowodować dyfuzję nośników ładunku. Jednakże w środowisku, w którym temperatura jest jednolita np. w powietrzu, efekt Seebecka nie znajdzie zastosowania do pobierania energii cieplnej z wahań temperatury zależnymi od czasu. Nanogeneratory piroelektryczne znajdują zastosowanie w bezprzewodowych czujnikach temperatury oraz obrazowaniu i diagnostyce medycznej [1, 3].

Oczekuje się, że piroelektryczny nanogenerator znajdzie wiele różnych zastosowań, w obszarach, w których istnieją wahania temperatury w zależności od czasu. Jedną z możliwych aplikacji tego nanogeneratorsa to zastosowanie go jako aktywny czujnik, który może pracować bez baterii. W czasie prowadzonych badań profesora Wanga ustalono, że za pomocą nanogeneratorsa piroelektrycznego, jako czujnika temperatury z własnym zasilaniem, można wykryć zmiany w temperaturze, w której czas reakcji i czas resetowania czujnika to odpowiednio około 0,9 i 3 s. [1].

4.7. Nanogeneratory hybrydowe



Rys. 3. Nanogenerator hybrydowy łączący działanie nanogeneratorsa piezoelektrycznego i akumulatorsa litowo-jonowego: (A) schemat przedstawiający strukturę oraz wygląd generatora. Anoda połączona jest z nanorurkami TiO_2 bezpośrednio wyhodowanych na folii Ti; warstwa trwale spolaryzowanego polifluorku winylidenu (PVDF, dobrze nadaje się do detekcji odkształceń mechaniczno-dynamicznych) działa jako separator; katodą jest LiCoO_2 przykryta warstwą folii aluminiowej. (B) generator umieszczony w podeszwie buta, kumuluje i przekształca energię generowaną podczas chodzenia [1]

Nanogeneratory hybrydowe to nanogeneratory, które wykorzystują energię z wielu źródeł, np. wytwarzają energię elektryczną zarówno z energii słonecznej jak również kinetycznej (rys. 3). Nanogeneratory takie pozwalają na najszersze zastosowanie m.in. do stworzenia generatorów zasilających np. samoloty – mógłby wykorzystywać energię słoneczną oraz energię kinetyczną silnika maszyny. Nanogeneratory hybrydowe mogą posiadać szerokie zastosowanie w medycynie wykorzystując jednocześnie energię biochemiczną oraz biomechaniczną, niewykluczone że nanogeneratory tego typu zastąpią niegdyś baterie w urządzeniach wszczepianych w ludzkie ciało, gdyż są w stanie produkować energię z ciepłoty ciała, przepływu krwi czy też ruchu idącej osoby z rozrusznikiem serca [3].

5. PROBLEMATYKA WYTWARZANIA

Głównym problemem podczas tworzenia nanogeneratorów było wytwarzanie nanodrutów, gdyż był to proces wysokotemperaturowy (ok. 650°C). Wykorzystanie nowoczesnych metod wytwarzania m.in. dekompozycji hydrotermalnej pozwoliło na wyeliminowanie tego problemu. Metoda ta została opracowana przez naukowców z Georgia Technology Institute i pozwala ona na wytwarzanie nanodrutów w temperaturze do 230°C [8].

Kolejnym problemem była wydajność nanogeneratorów. Pojedyncze nanogeneratory wytwarzają zbyt mało energii. Wyeliminowani ten problem poprzez wykorzystanie prądu zmiennego wytwarzanego przez nanogeneratory piezoelektryczne oraz zsynchronizowano pracę kilku nanogeneratorów w celu uzyskania maksymalnej produkcji energii. Synchronizację tę otrzymano przez zastosowanie specjalnego polimeru, który dzięki pamięci kształtu wyginał się tylko w jedną stronę. W ten sposób ilość wytwarzanej energii może zostać zwiększona poprzez zastosowanie większej ilości nanogeneratorów [9].

6. PODSUMOWANIE

Coraz większe zapotrzebowanie na energię przez współczesne społeczeństwo jest jednym z największych wyzwań ludzkości. Aktualne badania w dziedzinie energii obejmują takie obszary jak: przetwarzanie energii, energię odnawialną i zieloną, problem efektywniejszego przekazywania, magazynowania i pozyskiwania energii oraz zrównoważonego źródła energii dla mikro- i nano-systemów. Oprócz energii z odnawialnych źródeł, takich jak wiatr, woda, i energia słoneczna, od niedawna mamy okazję do pozyskiwania traconej przez nas energii z własnych środowisk, przykładowo pochodzącej z chodzenia, pisania, mówienia i oddychania. Energia pobierana ze środowiska może być wystarczająca, aby zasilić nanourządzenia działające okresowo, z powodu ich wyjątkowo niskiego poboru mocy i małych rozmiarów. Natomiast, jeśli skuteczni się magazynowanie energii z tych źródeł w pełnym zakresie, wiele współczesnych wymogów energetycznych, np. potrzebnych do małych urządzeń elektroniki osobistej, ale także tych na większą skalę, może zostać spełnionych. Nanogeneratory stają się nowym trendem w światowych próbach wychwytywania nowych źródeł energii poprzez rozwój technologii, a ostatnie wydarzenia z obszaru prac nad tymi innowacyjnymi urządzeniami niosą ze sobą duże nadzieje na rewolucję energetyczną już w niedalekiej przyszłości [1, 2, 3].

LITERATURA

1. Z. L. Wang, G. Zhu, Y. Yang, S. Wang, C. Pan, Progress in nanogenerators for portable electronics, *Materials Today Journal*, grudzień 2012
2. Z. L. Wang, X. Wang, J. Song, J. Liu, Y. Gao, Piezoelectric Nanogenerators for Self-Powered Nanodevices, *IEEE CS*, 2008
3. B. J. Hansen, Y. Liu, R. Yang, Z. L. Wang, Hybrid Nanogenerator for Concurrently Harvesting Biomechanical and Biochemical Energy, Georgia Institute of Technology, 2010
4. X. Wang, Piezoelectric nanogenerators – Harvesting ambient mechanical energy at the nanometer scale, 2011
5. http://technologie.gazeta.pl/internet/1,104530,8246389,Nanogeneratory_wytwarzaja_nanoampery_pradu.html
6. <http://kopalniawiedzy.pl/nanogenerator-Georgia-Institute-of-Technology-tlenek-cynku-piezoelektryk-Zhong-Lin-Wang,11815>
7. <http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=1000>
8. <http://kopalniawiedzy.pl/nanogenerator-Georgia-Institute-of-Technology-tlenek-cynku-piezoelektryk-Zhong-Lin-Wang,11815>
9. <http://kopalniawiedzy.pl/nanogenerator-tlenek-cynku-ruch-prad,6826>
10. <https://en.wikipedia.org/wiki/Nanogenerator>

