ZnO微結構製程之最佳壓電獵能模擬設計分析

張文陽 [1]*、許丞宏 [1]、楊承翰 [1]
[1] 國立虎尾科技大學 機械與電腦補助工程系
*Email: wenyang@nfu.edu.tw
國科會計畫編號 NSC 101-2221-E-150-013

摘要

本研究模擬ZnO微結構壓電材料的最佳獵能效益分析，研究主要探討不同形狀、幾何尺寸、施力形態與陣列結構對於壓電材料的影響。不同微結構的壓電形狀有圓柱體與長方體、幾何尺寸主要分析不同直徑與高度、施力形態有剪應力與正向應力、以及不同陣列與單一塊體之壓電獵能特性。模擬結果得知，ZnO壓電體若採用圓形微結構時，其微獵能的壓電效益會比長方體佳。在施力形態上，設計水平式壓電柱可提升壓電柱結構的形變量；因zigzag結構可一致及齊頭並進施力於水平式壓電柱上；且配合凸塊物的結構可增加觸壓之靈敏性響應。此外，在相同微結構面積下，採用陣列數較高的壓電結構時，則具有較好微獵能效益。然而，在不同高度與直徑之幾何尺寸條件下，當施力大小固定時，壓電柱長度大於80 μm或直徑小於60 μm，其微獵能效益並沒有明顯的提升，此應受限於ZnO結構變形與壓電之飽和因素。

關鍵字： 微結構、獵能、壓電、模擬

1. 前言

近年來半導體材料隨著時代變遷和技術發展漸漸成熟下，微獵能(micro-harvesting)的尺寸發展至微奈米已經成為一種備受期待的研究，因微獵能壓電結構可將環境中潛在的微振動轉換為電能，以利於開發智慧型之自發電(Self-power harvest)能量擷取器。因此，所有電子元件與其整合微系統之發展皆有電源長期供應之問題，針對國際上重要「無所不在」課題之無線感知網路尚缺獨立自主之能量解決，故源自是美國加州柏克萊大學(UC Berkeley)研究計劃，採用微電子機械系統(MEMS)技術開發出一種體積很小稱之為「智慧灰塵(Smart Dust)」的感測器，其能源目標是不需要透過電力或其它能源便能動作。一般而言，傳統式壓電結構多數採用塊體(bulk)形式，此塊體壓電晶體通常以燒結、磊晶成長、物理氣相沉積(PVD)、化學氣相沉積(CVD)[1-3]等方式成長，故成型後之壓電體會耦合在一起。因此，當壓電晶體受力後，結構形變量會大幅減少，從而減少壓電之獵能產生，因耦合後的單一晶體如同並聯結構體，使結構剛性增強。

依Z. L. Wang et al. [4-5]在Science期刊發表高敏感振動之奈米壓電元件構想，其藉AFM之Tip作用在微奈米壓電柱上，使單一微奈米壓電晶體柱比傳統塊體壓電體提升為17至30%之發電效率。此外，現階段研究優化微獵能結構方法包括有優化致動器[6]、活性壓電材料[7]、彈性壓電球型結構[8]、黏接劑影響[9]、陣列納米發電機[10-12]、壓電材料摻雜元素[13]、以RF濺射改變ZnO型態[14]及ZnO奈米線壓電效益[15]。近來Qin, et al.[16]於Nature期刊提出hybrid微奈米壓電結構以提高最佳獵能效益，此分別於上下基板成長微奈米壓電結構，故當上板受力時，上下微奈米壓電柱會相互交錯擠壓而產生電能。顯然交錯擠壓方式的形變量僅有單一壓電柱的直徑距離，故此形變量尚無法使壓電柱有最佳的獵能產生。顯然上述為針對壓電材料與結構之研究，以設計製作出最佳微獵能器，然而，較少的研究探討壓電獵能之最佳結構分析與施力形態模擬。

因此，本研究提出以水平式壓電柱配合zigzag和凸塊物結構，可利於側向剪應力作動之施力及提高結構之位移形變量，從而提升ZnO微結構的最佳獵能效益。模擬參數有不同結構形狀、幾何尺寸、施力形態與陣列結構之微獵能特性。不同形狀的壓電微結構有圓柱體與長方體、不同幾何尺寸主要分析不同ZnO的直徑與高度、施力形態有剪應力與正向應力、以及不同陣列數與單一塊體之壓電結構獵能效果。

2. 模型結構模擬設計

本研究以CoventorWave軟體模擬壓電獵能效益，模擬研究主要探討圓柱體(cylinder)與長方體(rectangular)之結構形狀、不同直徑與高度之幾何尺寸、側剪應力(shear)與正向應力(normal)之施力形態、及陣列數(array)與單一塊體(bulk)結構之ZnO壓電微獵能效能分析。於模擬時，長方體與圓柱體的元素網格化(Mesh)分別採用Manhattan與Tetrahedrous，其Element order均使用Linear order。元素網格大小會依結構大小不同而有些許差異，此主要因大結構尺寸若以較小的元素網格進行模擬時，需花費多時且容易導致電腦當機，故本模擬中的元素網格約為4至10 μm。在邊界條件上，壓電體底部的所有方向均設為固定，且於壓電體上部增加一層Cover以利於負載施力；此Cover層厚度為5 μm且被設定為剛體(Rigid body)。

在結構模擬條件設計上，設壓電圓柱體與長方體具有相同的載面積約735 μm^2，此圓柱體的高度與直徑分別為100 μm與30.6 μm，長方體的高度與寬度

分別為100 μm與27.1 μm。於不同直徑之幾何尺寸模擬上，主要分析ZnO為圓柱體且在固定高度100 μm下，其直徑為40、60、80、100與120 μm，即直徑與高度比R_h為0.4、0.6、0.8、1.0與1.2之獵能效益。於不同高度主要探討高度與直徑比R_d為0.33、0.5、0.67、1.0、1.33、1.67與2.0之獵能效益，即固定直徑為60 μm，且改變高度為20、30、40、60、80、100與120 μm。不同陣列數與單一塊體結構分析乃於固定截面積與高度下，模擬ZnO圓柱體陣列數有1、6、11、19、22與33根的微獵能效能。

以壓電材料而言，結構的獵能機制需同時包括機電耦合特性，方可達成機械能與電能之效能轉換，即ZnO被施加外力後壓電內部的電隅極矩會形變而產生電能。常見描述壓電特性的物理性質包括四個變數，即機械性質的應力(σ)與應變(S)、以及介電性質的電場(E)與電位移(D)，以下為壓電體受應力時電場所產生電位移與應變(d type)關係式子(1)：

$$\begin{cases} \varepsilon = s^E \sigma + d_t E \\ D = d\,\sigma + \varepsilon^\sigma E \end{cases} \tag{1}$$

其中 $\{\varepsilon\}_{6\times1} = \{\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, 2\varepsilon_{yz}, 2\varepsilon_{xz}, 2\varepsilon_{xy}\}^T$

$$\{\sigma\}_{6\times1} = \{\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{yz}, \sigma_{xz}, \sigma_{xy}\}^T$$

$$\{E\}_{3\times1} = \{E_x, E_y, E_z\}$$

$$\{D\}_{3\times1} = \{D_x, D_y, D_z\}$$

式中s^E、d與ε^σ分別為柔性常數(compliance, coefficient, m^2/N)、剛性矩陣(Stiffness matrix, m/V)與介電常數(dielectric constant, F/m)，且d_t為d的轉置。此外，ε^σ之上標σ表示應力為定值時的介電常數、s^E之上標E表示電場為定值時的柔性常數、d為應力為定值時所產生的應變與外加電場之比值。一般而言，式子中的剛性矩陣材料係數共有18個獨立的壓電常數。若材料具有一個面為等向性平面，則壓電係數有5個，因此考慮ZnO壓電材料為等向性(isotropic)且極化方向為z軸、同時具有正交性 (orthotropic material)特性之材料，故可將壓電彈性柔度矩陣s^E、介電常數矩陣ε^σ與壓電係數d之矩陣簡化並以矩陣形式分別表示如下(2)~(4) 式子：

$$[s^E] = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ 2\varepsilon_{yz} \\ 2\varepsilon_{xz} \\ 2\varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11}^E & s_{12}^E & s_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ s_{21}^E & s_{22}^E & s_{23}^E & 0 & 0 & 0 \\ s_{31}^E & s_{32}^E & s_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{44}^E & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{55}^E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{66}^E \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$[\varepsilon^\sigma] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$[d] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{24} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{4}$$

將式子(2)~(4)代入(1)並以陣列形式表示如下：

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ 2\varepsilon_{yz} \\ 2\varepsilon_{xz} \\ 2\varepsilon_{xy} \\ D_x \\ D_y \\ D_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11}^E & s_{12}^E & s_{13}^E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{31} \\ s_{21}^E & s_{22}^E & s_{23}^E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{32} \\ s_{31}^E & s_{32}^E & s_{33}^E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & 0 & 0 & s_{44}^E & 0 & 0 & 0 & d_{24} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{55}^E & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_{66}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{24} & 0 & 0 & 0 & \varepsilon_{22} & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} \\ E_x \\ E_y \\ E_z \end{Bmatrix} \tag{5}$$

本模擬中設材料柔性常數$S_{11}=2.097\times10^5$、$S_{12}=S_{21}=1.211\times10^5$、$S_{22}=2.097\times10^5$、$S_{13}=S_{31}=1.051\times10^5$、$S_{23}=S_{32}=1.051\times10^5$、$S_{33}=2.109\times10^5$、$S_{44}=4.430\times10^4$、$S_{55}=S_{66}=4.240\times10^4$ MPa。剛性矩陣d_{15}=-1.134×10^{-5}、d_{26}=-1.134×10^{-5}、d_{31}=-5.43×10^{-6}、d_{32}=-5.43×10^{-6}、d_{24}=0、d_{33}= 1.167×10^{-5} pC/(V·μm)、真空介電常數ε_0= 8.85 × 10^{-12} C/(V·m)、ZnO密度為5.68 g/cm^3、電導係數為2.5x10^{-1} ps/μm。常用的壓電係數d_{ij} (charge mode)，第一下標i意指electrical axis，第二下標j是mechanical axis。以薄膜壓電材料而言，若壓電極化方向或單晶磊晶方向在薄膜面的上下兩端，則electrical axis通常指z方向(即為3)，因此mechanical axis則可以為x、y或z(1、2或3)任一方向。

3. 結果與討論

最佳ZnO微壓電獵能效益之結構形狀與幾何尺寸效應、結構施力形態效應、不同陣列數與單一塊體壓電獵能效應之模擬分析結果與討論如下：

3.1 形狀與幾何尺寸效應

以燒結或磊晶成長壓電材料時，通常可依需求設計與製作出不同形狀的壓電體。然而，在相同截面積與高度的圓柱體或長方體時，當受到大小相同的剪應力作用下，其壓電內部電隅極矩的應變與獵能效率是否有差異?故模擬分析時，設圓柱體與長方體的截面積和高度分別為735 μm^2與100 μm，且施予0.1至10 MPa的側向剪應力。下圖1為模擬的結果，其明顯看出無論在哪個剪應力施力下，圓柱體結構均具有較大的撓曲(deflection)變形量，且撓曲差異量隨著剪應力增加而有明顯變大。此撓曲量直接關係到壓電體之獵能電壓(Voltage)輸出效益，可從電壓特性曲線可知在相同的截面積時，圓柱體的輸出獵能電壓遠比長方體高，此現象可歸咎於圓柱體之面積慣性矩(Moment of Inertia)或面積二次矩(Second moment)比長方體小。故在相同截面積與高度下，圓柱體壓電體結構比長方體具有較大的獵能電壓輸出。於幾何尺寸效應主要分析不同直徑與高度之圓柱體結構獵能特性，雖眾所熟知在高度愈高或直徑較小下，壓電體於一固定施力時具有較高的獵能效益。然而，並非可無限增加高度或減

少直徑以達最佳獵能，故尺寸效應模擬圓柱體的直徑與高度比為R_h=0.4、0.6、0.8、1.0與1.2之獵能特性，即固定壓電體高度為100 μm且改變直徑為20、40、60、80、100與120 μm，並施加0.1、0.3、0.5、07與1.0 MPa之剪應力。

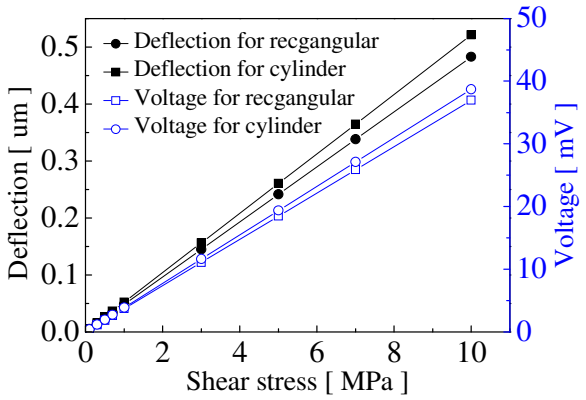

圖 1 具相同截面積與高度之圓柱體與長方體壓電微獵能特性分析。

下圖2為固定高度且改變不同直徑之壓電ZnO受剪應力後的獵能電壓曲線，從曲線特性可知，當直徑與高度比R_h較小時，圓柱體有較大的獵能電壓。圖2插圖中為固定剪應力1 MPa施力下之不同直徑與電壓的變化量，可明顯看出壓電體直徑約小於50 μm時，其電壓特性曲線具有較高梯度變化，但當直徑大於100 μm時，其其電壓特性曲線趨近於緩和。然而，在相同的剪應力下，當直徑與高度比R_h約大於1.0時，其獵能電壓輸出有飽和現象，此現象應可歸咎於應力分佈並未有增加之因素。

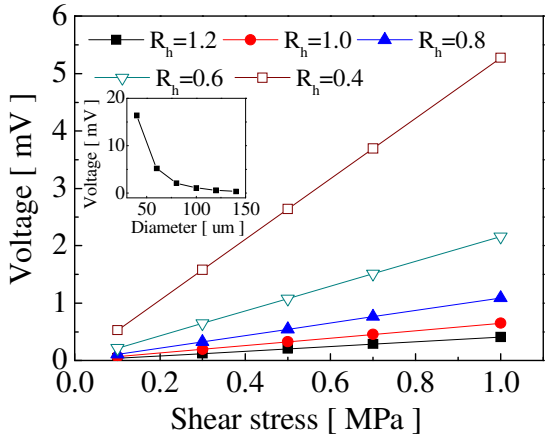

圖 2 圓柱體不同直徑與固定高度比 R_h 之 ZnO 受剪應力後的獵能電壓特性。

圖3為固定直徑且改變不同高度之ZnO壓電體受剪應力後的獵能電壓，此模擬圓柱體在固定直徑60 μm且於不同高度20、30、40、60、80、100與120 μm之獵能效應，即此高度與直徑比R_d=0.33、0.5、0.67、1.0、1.33、1.67與2。從曲線特性可知，當高度與直徑比R_d較大時，圓柱體有較大的獵能電壓，如在剪應力1 MPa時，R_d為2、1.67、1.0、0.67、0.5與0.33之分別相對應的獵能電壓為6.9、5.23、3.48、2.2、1.27、0.49與0.48 mV。然而，在相同的剪應力下，當高度與直徑比R_d小於0.5時，其僅具有較小的獵能電壓輸出，此因結構有較高剛性特性，故外力機械能無法造成壓電內部的電隅極矩之形變而產生電能。

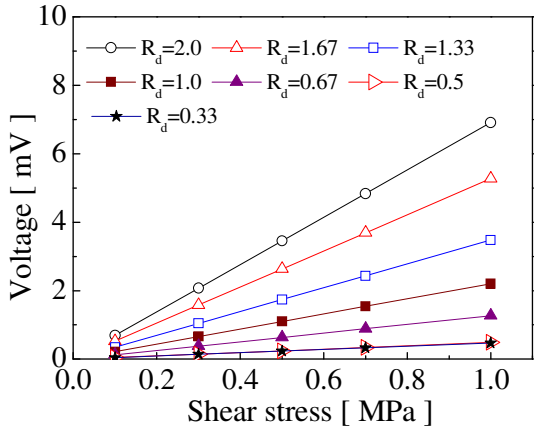

圖 3 圓柱體不同高度與固定直徑比 R_d 之 ZnO 受剪應力後的獵能電壓特性。

3.2 結構施力形態效應

常見壓電材料的獵能方式有正向應力與側向剪應力之施力形態，但可預想得知側向剪應力之施力應具有較大獵能效益。然而，現有塊體壓電元件受限於結構設計與自然界施力機制，故多數採用正向應力施加於塊體壓電元件。因此本研究以水平式壓電柱之設計概念，以利於側向剪應力作動而提升獵能電壓，此獵能機構主要由壓電柱、zigzag結構、凸塊物(bump)與固定座(post)結構所組成，見圖4(a)所示，其中圖4(b)為陣列式壓電柱之獵能結構設計。壓電柱水平式設計可具體提昇壓電柱結構形變量；zigzag結構可一致及齊頭並進施力於水平式壓電柱上；凸塊物的結構可增加觸壓之靈敏性響應及有效地間接控制水平壓電柱之形變量並保護壓電柱結構，以防止變形或壓力過大而造成壓電柱損壞。圖4(c)為陣列水平壓電柱式受側向施力模擬，此將正向應力轉換為剪應力作動。擬模上以下壓物體接觸到凸塊物，使凸塊物產生應力集中效應讓zigzag擠壓壓電柱而產生形變。模擬中凸塊物、post與下壓物結構之Young's modulus為207 GPa、Poisson's ratio為0.3。模擬結果顯示因為bump與zigzag在薄膜中心處會形成質量慣性矩，此量慣性同時有利於增加壓電柱振動而增加壓電能量。

為簡化模擬，本研究僅以單根壓電圓柱體模擬其受正向應力(normal stress)與剪應力(shear stress)之特性，於模擬時設壓電圓柱體之高度與直徑分別為100與60 μm。圖5為圓柱體受正向應力與剪應力之相同負載施力後，其結構的撓曲量與獵能電壓之特性曲線，明顯可看出於各固定之正向應力或剪應力下，圓柱體受到剪應力作用可產生較高撓曲量與獵能電壓值，如於應力1 MPa時，正向應力或剪應力的獵能電壓值分別為6.04與79.9mV，此相者相差約13倍獵能電壓值。顯然交錯壓電柱水平方式的形變量可使壓電柱有最佳的壓電能產生。故一穩定且連續性剪應力之機械振

動或共振電路的振動能量，可使壓電柱自發性連續輸出電能。

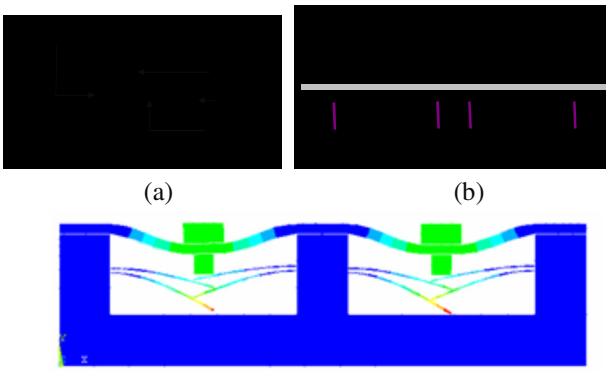

圖4 壓電結構最佳化獵能設計(a)單組水平式壓電柱(b)陣列式壓電柱獵能(c)陣列式側向施力模擬。

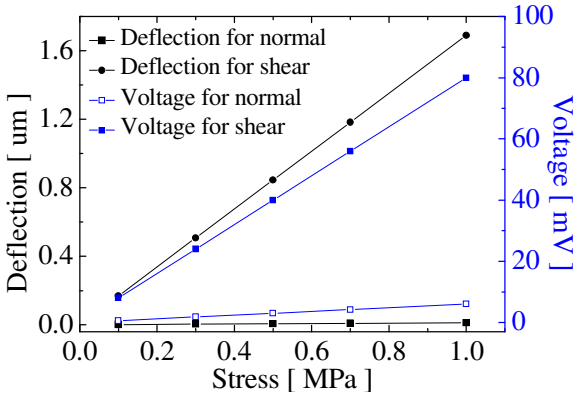

圖 5 圓柱體受正向應力與剪應力負載施力後之形變量與獵能電壓。

3.3 陣列與單一塊體壓電獵能效應

陣列與單一塊體的特性主要模擬於相同的截面積與高度下，當施於固定的側向剪應力時，探討此不同壓電結構之微獵能差異性。模擬時設單一塊體結構的直徑與高度分別為60與100 μm，陣列結構根數有6、11、19、22與33根，其分別相對應之直徑為30、24、19、16與14 μm且具有相同高度為100 μm。圖6為單一塊體與不同陣列數之壓電獵能效益，明顯可知在相同的截面積(即插圖中A1=A2)，單一塊體獵能電壓為最低，但隨著陣列數增加其獵能電壓為隨著增加，如在剪應力1MPa時，陣列數為1、6、11、19、22根之獵能電壓分別為0.543、1.05、1.56、2.42與3.46 mV。然而，當陣列數增加到33根時，獵能電壓反而會遞減至約為2.66 mV，此因採用過多的陣列數時結構剛性亦為隨著增加，因高陣列數之剛性已趨近於單一圓柱體結構特性。設計單晶壓電柱陣列式的獵能電壓靈敏性，已成為微型振動能源收集模組的關鍵，包括掌握壓電單晶柱於基板成長技術、奈米線材陣列圖案化之泳控制與製程技術。

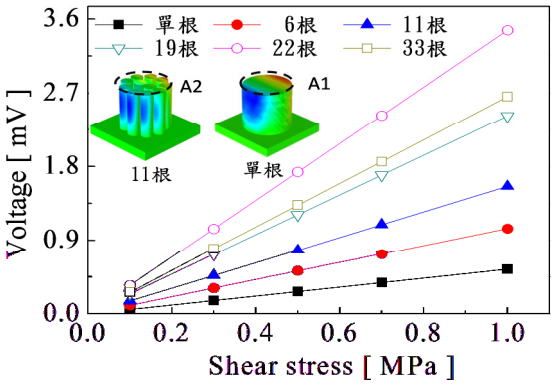

圖 6 單一塊體與不同陣列數之壓電獵能效益。

4. 結果與討論

本研究已成功模擬分析 ZnO 微結構之最佳壓電獵能設計，於製程上若採用壓電柱水平式設計，可具體提升壓電體結構之形變量與獵能電壓；此外再配合 zigzag 結構、凸塊物與固定座結構所組成，可一致及齊頭並進施力於水平式壓電柱上，以利於增加觸壓之靈敏性響應及控制水平壓電柱之獵能。再者，當壓電體之高度與直徑比 R_d 較大及直徑與高度比 R_h 較小時，圓柱體有較大的獵能電壓，因為此結構有較低剛性強度，故壓電體受外力機械能作用時，可容易造成壓電內部的電隅極矩之形變而產生電能。因此，基於創造能源，可將每個微獵能壓電轉換模組之能量集中於大容量的蓄電池中，以提供穩定直流電源而實現微獵能應用。配合環境中潛在的微振動可將微壓電結構獵能轉換為電能，以利於開發智慧型之自發電能量擷取器。

5. 致謝

本論文為國科會編號101-2221-E-150-013之計畫，由於國科會的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

6.參考文獻

1. Ji L.W., Young S.J., Fang T.H., Liu C.H., “Buckling characterization of vertical ZnO nanowires using nanoindentation”, Applied Physics Letters, Vol. 90, pp. 033109-11, 2007.
2. Cheng J., Zhang X., Luo Z., “Aligned ZnO nanorod arrays fabricated on Si substrate by solution deposition“, Physica E, Vol. 31, pp. 235-239, 2006.
3. Cha S.N., Jang J.E., Chio Y., Amaratunga G.A.J., “High performance ZnO nanowire field effect transistor using self-aligned nanogap gate electrodes”, Applied Physics Letters, Vol. 89, pp. 263102-263104, 2006.
4. Wang Z.L., Song J., Piezoelectric nanogenerators based on Zinc Oxide nanowire arrays, Science, Vol. 312, pp. 242-246, 2006.
5. Wang X., Song J., Liu J., Wang Z.L., Direct-current

nanogenerator driven by ultrasonic waves, Science, Vol. 316, pp. 102-105, 2007.
6. Sohn, J.W., Choi, S-B., Kim, H.S., "Vibration control of smart hull structure with optimally placed piezoelectric composite actuators," International Journal of Mechanical Sciences, Vol.53, No.8, pp. 647–659, 2011.
7. Qingli, D., Kenny, N., "Investigation of electromechanical properties of piezoelectric structural fiber composites with micromechanics analysis and finite element modeling," Mechanics of Materials, Vol. 53, pp. 29–46, 2012.
8. Wang, H.M., Xu, Z.X., "Effect of material inhomogeneity on electromechanical behaviors of functionally graded piezoelectric spherical structures," Computational Materials Science, Vol. 48, No. 2, pp. 440–445, 2010.
9. Xinlin, P.Q., Leng, C.H., Shawn, J.B., Teng, K.O., Stephen, A.M., "Effect of adhesive on the performance of piezoelectric elements used to monitor structural health," Microelectronic Engineering, Vol. 26, No. 8, pp. 622–628, 2006.
10. Zhengzheng, S., Liaoyong, W., Dongmin, W., Xueao, Z., Shengli, C., Shiqiao, Q., "AFM analysis of piezoelectric nanogenerator based on n+-diamond/n-ZnOheterojunction," Applied Surface Science, Vol. 257, No. 11, pp. 4919–4922, 2011.
11. Zhengzheng, S., Liaoyong, W., Dongmin, W., Xueao, Z., Shengli, C., Shiqiao, Q., "Pt/ZnO Schottky nano-contact for piezoelectric nanogenerator," Physica E, Vol. 43, No. 1, pp. 173–175, 2010.
12. Xudong, W., "Piezoelectric nanogenerators Harvesting ambient mechanical energy at the nanometer scale," Nano Energy, Vol. 4, No. 1, pp. 13–24, 2012.
13. Johny, T.A., Kumar V., Imai, H., Kanno, I., "Influence of lithium doping on the structural and electrical characteristics of ZnO thin films," Thin Solid Films, Vol. 520, No. 17, pp. 5797–5800, 2012.
14. Chang, C.J., Lee, Y.H.,Dai, C.A., Hsiao, C.C., Chen c, S.H., "A large area bimaterial sheet of piezoelectric nanogenerators for energy harvesting: Effect of RF sputtering on ZnO nanorod," Microelectronic Engineering, Vol. 88, No. 8, pp. 2236–2241, 2011.
15. Tong, H., Wang, B.L., Yang, Z.C.O., "Electric potential generated in ZnO nanowire due to piezoelectric effect," ScienceDirect, Vol. 516, No. 9, pp. 2708–2710, 2008.
16. Qin Y., Wang X.D., Wang Z.L., "Microfibre – nanowire hybrid structure for energy scavenging", Nature, Vol. 451, pp. 809-813, 2008.

Characteristic Simulation of Piezoelectric Harvesting Based on ZnO Microstructures

Wen-Yang Chang[1*], Cheng-Hung Hsu[1], Cheng-Han Yang[1]
[1]Department of Mechanical and Computer-Aided Engineering, National Formosa University
[*]Email: wenyang@nfu.edu.tw
NSC Project No. NSC 101-2221-E-150-013

Abstract

The study investigates piezoelectric harvesting efficiency of ZnO microstructures with differential structural configurations using the FEM simulation. The effects of different ZnO structures based on same cross-section area are simulated, including the lengths, the heights, array numbers, shapes, and applied force directions. The results show that there has lager energy harvesting with small ratio (R_h) of the diameter and the high, but the energy harvesting will saturate when the R_h is less 0.2. The single-bulk structure of piezoelectric ZnO produces less micro-energy than array structure. The energy harvesting increases with array number increasing. However, the energy harvesting deceases when the array number with a diameter of 14 μm is over 33. In addition, the piezoelectric harvesting based on ZnO nanorod arrays with a zigzag layer has higher harvesting efficiency. They provide useful information for designing and fabricating harvesting devices.

Keywords: Piezoelectric, Harvesting, ZnO, Simulation.