

Nanofils piézoélectriques : consommateurs de vibrations et producteurs d'énergie

Deux laboratoires de la région Centre, le GREMAN à Tours et le CRMD à Orléans, se sont associés pour développer de nouveaux dispositifs récupérateurs d'énergie basés sur la piézoélectricité et ainsi produire de l'électricité grâce aux vibrations naturelles ou artificielles de notre environnement.

Certains matériaux ont la propriété de se polariser sous l'effet d'un effort mécanique : c'est l'effet piézoélectrique direct - en grec *piezien* signifie « serrer » ou « presser » - découvert par les frères Curie. Cette polarisation est proportionnelle à l'effort appliqué et change de signe avec lui (compression ou étirement).

L'effet piézoélectrique est réversible : ces mêmes matériaux se déforment sous l'effet d'une polarisation électrique, résultant de l'application d'une tension électrique sur des électrodes ajoutées dans ce but.

Une technologie remise au goût du jour

L'utilisation des matériaux piézoélectriques n'est pas nouvelle, mais elle est longtemps restée cantonnée à des applications de type actionneur (émission/réception d'ultrasons

pour l'échographie) ou capteur de pression. De nouvelles applications ont vu le jour pour répondre aux besoins en production d'énergie propre et renouvelable. Il s'agit de convertir une énergie mécanique abondante, « les vibrations », en énergie électrique. Mais de quelles sources de vibrations mécaniques dispose-t-on dans notre environnement ? De sources naturelles (secousses sismiques, vent, cours d'eau, êtres humains...) ou artificielles (machines, véhicules, bruit...).

L'idée est de fabriquer des générateurs piézoélectriques délivrant des puissances allant du microwatt au watt (selon la dimension des générateurs). Il ne s'agit donc pas d'alimenter le réseau électrique (une éolienne produit quelques Mégawatts), mais d'alimenter et de rendre autonomes des appareils électroniques du quotidien.

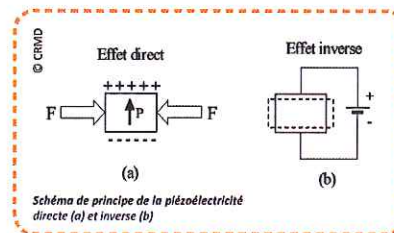
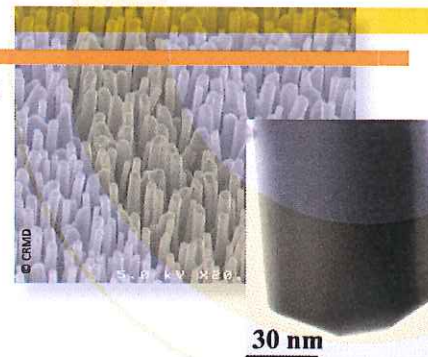
Les domaines d'applications sont nombreux : par exemple l'alimentation de capteurs et d'objets communicants autonomes dont on ne peut changer les batteries (capteurs dans le corps humain en médecine ou pour l'aérospatial, antivol/GPS intégrés dans les carrosseries de voiture, etc.). Par cette technologie il est aussi envisageable de recharger les appareils nomades du quotidien. Ainsi, une équipe américaine a réalisé et testé une « chaussure piézoélectrique » utilisant les vibrations au cours de la marche ou de la course pour alimenter un baladeur ou un téléphone (quelques dizaines de milliwatt). Ces nouveaux microgénérateurs piézoélectriques apparaissent également comme une excellente alternative aux batteries électrochimiques, palliant ainsi leurs princi-

Dans l'étude des matériaux...

Le Groupement de Recherche en Matériaux, Microélectronique, Acoustique et Nanotechnologies explore et développe de nouveaux matériaux, composants et systèmes pour l'efficacité énergétique. Pour cela, il peut s'appuyer sur la plate-forme du CERTeM (Centre d'Etude et de Recherche sur les Technologies de la Microélectronique) qui regroupe de nombreux équipements : salle blanche et équipements de caractérisation.

Le Centre de Recherche sur la Matière Divisée développe de nouveaux matériaux pour les nouvelles technologies. Dans l'esprit de la miniaturisation, il s'engage dans le développement de nouveaux nanomatériaux pour l'énergie, comme les nanofils d'oxydes semiconducteurs et piézoélectriques, les nanoparticules métalliques ou encore les matériaux carbonés.

Tapis de nanofils de ZnO obtenus par synthèse hydrothermale. Chaque nanofil est monocristallin avec un diamètre de l'ordre de 300 nm et une longueur de 2 μ m.



aux défauts (durée de vie limitée, encombrement, toxicité). Ces nouveaux microgénérateurs doivent rivaliser avec d'autres technologies également aptes à convertir l'énergie mécanique en énergie électrique : les dispositifs électromagnétiques (principe de la dynamo) ou électrostatiques (principe du condensateur à capacité variable). Les avantages et inconvénients des trois types de générateurs (piézoélectrique, électromagnétique et électrostatique) sont différents, ce qui en font des systèmes complémentaires, notamment en gamme de fréquence, amplitudes de force ou de déformation, aptitude à la miniaturisation...

« Ces nano-objets sont... de très bonne qualité...leurs dimensions leur confèrent des propriétés particulières »

La fée « nano »

Parallèlement, les nanotechnologies ont connu un essor remarquable dont les matériaux piézoélectriques ont tiré des bénéfices. Il est maintenant possible de

maîtriser la composition chimique et les caractéristiques géométriques à l'échelle de quelques nanomètres. Entre autres, il est désormais envisageable de synthétiser des fils de quelques dizaines de nanomètres de diamètre et de quelques micromètres de long. Ces nano-objets sont cristallographiquement de très bonne qualité et leurs dimensions leur confèrent des propriétés particulières, extrêmement intéressantes du point de vue tant de la physique théorique que des potentielles applications. L'oxyde de zinc (ZnO) est un matériau semi-conducteur dit à large bande interdite. Sa structure cristalline de type wurzite lui confère également des propriétés piézoélectriques. De nombreux nanosystèmes utilisant l'une ou l'autre de ces propriétés (piézoélectrique ou semi-conductrice), voire les deux combinées, sont développés avec succès, tels que les nanogénérateurs constitués de rangées de nanofils ZnO.

Son principe de fonctionnement est le suivant : lorsque le nanofil est soumis à une force transversale F , un potentiel électrique négatif V^c apparaît dans la zone comprimée, et un potentiel électrique positif V^t apparaît dans la zone étirée, ce qui permet la production d'un courant électrique. Les niveaux de puissance obtenus sont pour le moment d'environ 10 mW/cm³ mais sont susceptibles d'évoluer dans les prochaines années avec notamment l'optimisation des matériaux nouvellement développés. Les atouts principaux des nanofils de ZnO pour la récupération d'énergie mécanique se trouvent dans leurs propriétés mécaniques remarquables, leur méthode de

synthèse peu coûteuse, leur non-toxicité (sans plomb contrairement aux céramiques PZT-Titano-Zirconate de plomb largement utilisées actuellement), et leur caractère à la fois piézoélectrique et semi-conducteur. Ce dernier atout se traduit par la faculté du nanogénérateur à fournir un signal électrique « redressé » (c'est-à-dire positif et non alternatif). Le circuit électronique reliant le nanogénérateur au dispositif à alimenter s'en trouve simplifié.

C'est à cet objectif, de concevoir et de réaliser un dispositif récupérateur d'énergie, que se consacrent le Laboratoire Matériaux, Microélectronique, Acoustique, Nanotechnologies (GREMAN - UMR 7347 CNRS/Université de Tours) et le Centre de Recherche sur la Matière Divisée (CRMD - FRE 3520 CNRS/Université d'Orléans) au travers du programme « Convertisseur Electromécanique à base de nanofils ZnO ». Ce programme soutenu par la Région Centre s'appuie sur les compétences complémentaires de ces deux laboratoires : en modélisation des propriétés piézoélectriques et en conception de composants pour le premier et en fabrication de nouveaux matériaux (réseaux de nanofils de ZnO) pour le second.

- Guylaine POULIN < GREMAN >**
guylaine.poulin-vittrant@univ-tours.fr
 - Nicolas CAMARA < GREMAN >**
nicolas.camara@univ-tours.fr
 - Caroline ANDREAZZA < CRMD >**
caroline.andreazza@univ-orleans.fr
 - Pascal ANDREAZZA < CRMD >**
pascal.andreazza@univ-orleans.fr
- <http://www.crmd.cnrs-orleans.fr/>
<http://www.greman.univ-tours.fr/>

Principe de fonctionnement d'un nanofil en flexion : nanofil au repos (a), répartition de la contrainte longitudinale après flexion par une force transversale F (b), répartition du potentiel électrique (c).

