

Plastiques piézoélectriques

Introduction

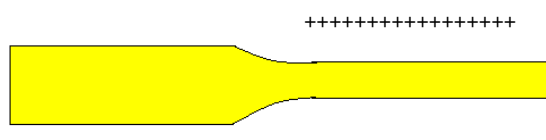
Les matériaux ' sensibles ' transforment une énergie en une autre énergie et sont utilisés pour capter. L'utilisation de plus en plus commune des microprocesseurs a propulsé la demande de capteurs vers des sommets. Cette demande se réduit dès lors que les prix dt certaines limites. Aujourd'hui, en terme de capteurs dynamiques transformant une énergie mécanique en énergie électrique, la combinaison élément sensible faible coût est réalisée.

Ce qui suit traite des polymères piézoélectriques.

Les frères Curie ont découvert la piézoélectricité voilà plus de 100 ans. Ils ont découvert qu'un quartz changeait de dimensions lorsque soumis à un champ électrique et qu'inversement, il générerait une charge électrique lorsque sollicité mécaniquement. En 1920, Langevin met en application le concept et développe le premier Sonar.

En 1969, Kawai découvre une forte activité piézoélectrique dans un fluopolymère polarisé, il s'agit alors d'un polyvinylidène fluoride (PVDF). Des années plus tard quelques spécialistes tentent d'imposer le produit pour la réalisation de capteurs et d'actuateurs mais l'industrie est toujours frileuse devant les nouveautés technologiques.

Plastiques piézoélectriques

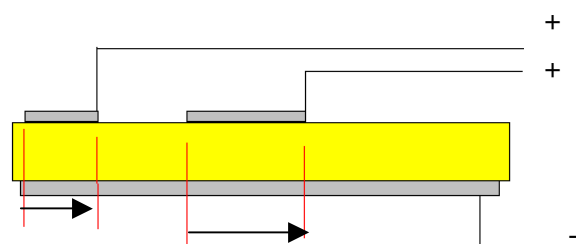


Un plastique spécifique est extrudé puis étiré et polarisé (30MV/m) de sorte à ce qu'il devienne piézoélectrique. Pour les familiers de la piézoélectricité, ce plastique est auto générateur d'électricité lorsqu'excité mécaniquement et se déforme sous l'effet d'une sollicitation électrique. Ce plastique, le PVDF est utilisé dans le BTP pour sa solidité, sa résistance aux ultraviolets, aux solvants, aux bases et sa capacité à ne générer que peu de fumée lors d'incendies.

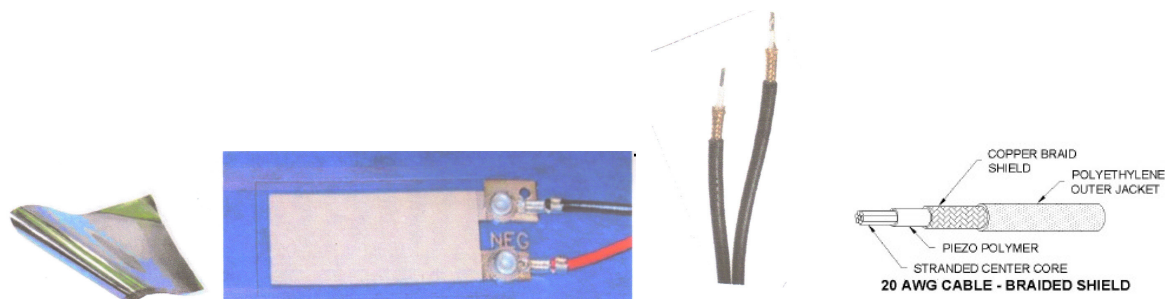
Contrairement au quartz, le PVDF possède une valeur de d_{33} négative ce qui induit qu'il se comprime au lieu de gonfler et vice versa lors d'exposition à un champs électrique.

Les copolymères de PVDF sont également utilisés pour leurs propriétés piézoélectriques, ce sont des PVDF-TrFE ou des P(VDF-TrFE). Bien que les copolymères soient moins polarisés que le PVDF pur, ils possèdent une cristallinité plus importante et donc une réponse piézoélectrique plus importante.

Pour imaginer un capteur réalisé à partir de film piézoélectrique il suffit de le munir d'électrodes.



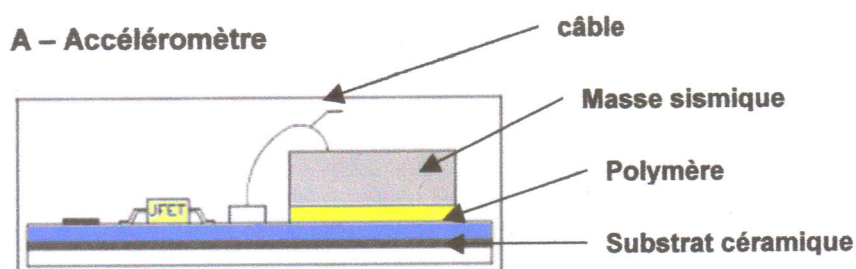
Comme le montre le schéma ci-dessus le plastique, en jaune est doté, dans le cas du dessin, d'une électrode négative sur toute sa surface et de deux électrodes positives. Ne sont active que les zones en sandwich entre deux électrodes. Chaque électrode positive représente un capteur indépendant. Il est possible, par exemple, d'imaginer un tapis sérigraphié comme une cible et permettant de déterminer, si le support est bien pensé, le lieu et l'amplitude d'un impact.



Le PVDF est proposé en rouleaux métallisés ou en éléments sérigraphiés en standard ou à façon, naturellement il convient de considérer la nature du matériau des électrodes : cuivre, encre d'argent, or, nitrure d'étain à l'indium etc ... Il est aussi proposé sous forme de câbles PVDF ou copolymères. Tous les produits peuvent-être recouverts, gainés, câblés de différentes façons.

Des applications diverses et variées

La première application qui vient à l'esprit est **l'accéléromètre**.



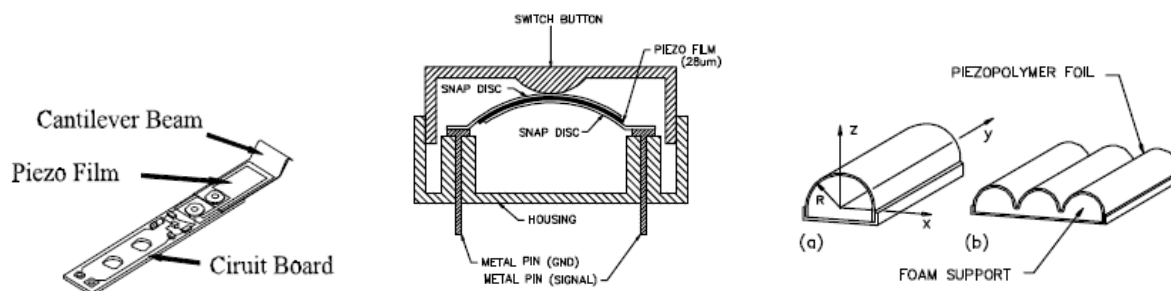
Comme tous les accéléromètres c'est l'empilage d'une masse sismique sur un élément sensible, le tout monté sur une embase qui en l'occurrence est un substrat classique. L'intérêt de ce capteur est qu'il est miniature, léger, rempli de résine, ne comprend aucun élément mobile et résiste aux chocs comme aux efforts de compression etc ... Autre chose intéressante, le capteur délivre au travers de son JFET une tension d'environ 10 mV/g dans une plage de fréquence de 2 Hz à 20 KHz et le tout pour un coût très faible.

De là des dispositifs peuvent-être conçus comme des détecteurs de chocs pour les alarmes d'habitations, des moyens de surveillance de machines tournantes etc ...

A partir de l'accéléromètre de base, des habillages métalliques et conceptions électroniques peuvent-être ajoutés avec différents type de fixation mécanique et de raccordement électrique.

D'autres applications possibles

Le PVDF peut-être utilisé en basse fréquence et en très hautes fréquences, de là à penser différentes applications du produits n'est pas très compliqué.

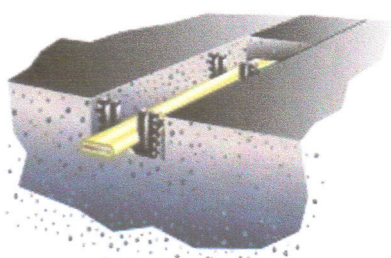


Du **commutateur** compteur de pièces en passant par le **bouton poussoir autogénérateur** pour terminer avec des dispositifs ultrasoniques comme des **détecteurs de distances pour véhicules**, il n'y a de limite que l'imaginaire.

Des dispositifs de détection d'intrusion sur vitrage avec des **métallisations transparentes** ont aussi fait l'objet de développements.

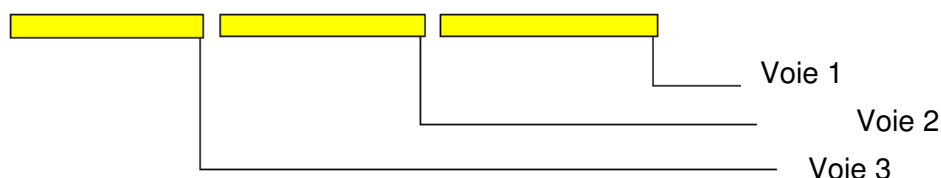
Il convient de se souvenir que le produit, excité électriquement, génère son mouvement, des **générateurs ultrason**, des **haut parleurs** figurent dans la liste des possibles applications des films. Par exemple, pour un haut parleur de qualité il faut une métallisation homogène et sans 'trous', ainsi, la métallisation or a été utilisée pour ce type d'application ou le film est gonflé par un fluide ou une mousse pour offrir un maximum d'efficacité sonore.

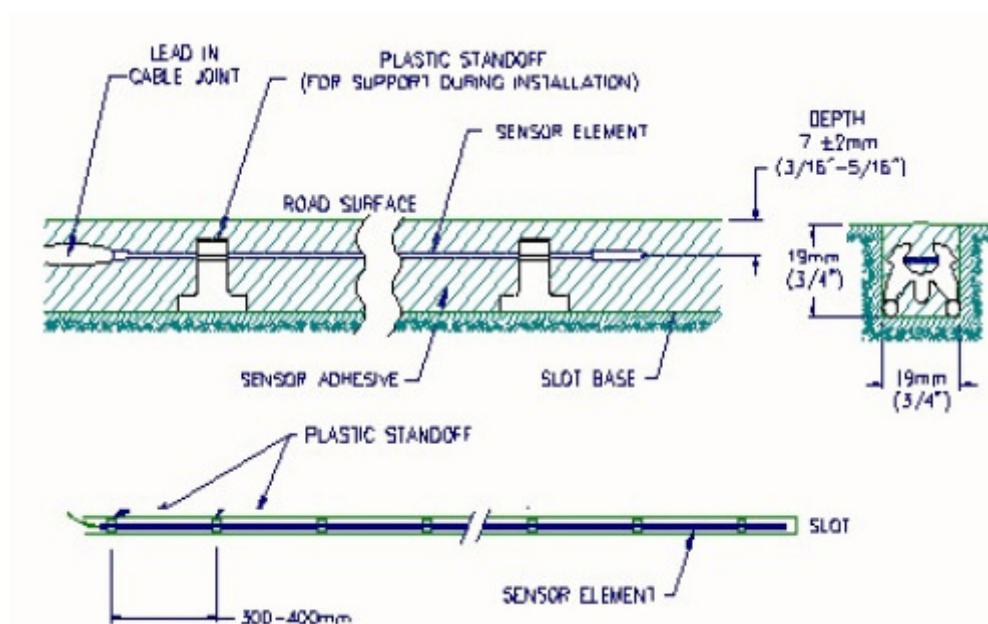
Les applications des piézo câbles sont aussi nombreuses :



La plus parlante est, sans doute, la pesée dynamique de véhicules. Le **câble de PVDF** est intégré dans une enveloppe caoutchouc qui s'intègre directement dans le bitume. Au passage d'un véhicule le câble donne une amplitude proportionnelle au poids de l'essieux et permet de déterminer, en dynamique et au passage, le nombre d'essieux et leurs masses.

Pour différencier les véhicules en fonction de la file empruntée, il suffit de disposer des linéaires sur chaque file de la voie.





L'idée de transposer ce concept à d'autres applications vient immédiatement : passage de coulées de boues ou de neige par exemple ou encore détection de chutes de blocs ou simple clôture anti-intrusion.

Au nombre des applications exotiques le gainage d'un mannequin avec un film sérigraphié pour mesurer l'endroit et l'amplitude des impacts lors d'un accident de la route, le gainage de structure marines et sous marines pour générer des fréquences et donc des mouvements de sorte à préserver les coques de l'encrassement par des coquillages mais aussi le captage de fréquences jusqu'à 40 MHz pour générer une contre réaction et rendre un vecteur sous marin indétectable.

Les applications sont ainsi très nombreuses et, si de nombreux brevets ont été déposés, peu de réalisations commerciales sont aujourd'hui exploitées.

Conclusions

Le plastique piézoélectrique n'est pas bon pour tout, il réagit à l'effort dynamique mais aussi à la lumière ce qui en fait un capteur intéressant pour la détection d'intrusion mais impose des précautions d'emploi dans les cas de mesures d'efforts comme de mesures thermiques.

Si le plastique peut-être sérigraphié avec des formes très particulières il convient de se souvenir que les masques permettant les sérigraphies sont limités en dimensions et qu'à chaque conception / réalisation de masque une étude doit-être réalisée.

En revanche le produit est intéressant pour des applications grand public, BTP, médicales, militaires et autres.

Pour se familiariser avec les plastiques piézoélectriques et trouver une réponse pour une application particulière il est important de contacter des spécialistes. En effet, outre le fait que des brevets soient déposés, le produit, qui semble simpliste, doit-être correctement configuré pour répondre aux attentes des utilisateurs. Dans le prolongement de la configuration ' mécanique ', l'électronique, bien que toute simple, doit-être conçue en fonction du produit et de sa configuration pour fonctionner correctement.

Enfin, l'expérience montre que le choix peut s'avérer complexe entre un film tout simple, un film implanté sur une structure pour une application ou un maillage en piézo-film pour des mesures compliquées.

Propriétés typiques des piézo-films

Symbol	Parameter		PVDF	Copolymer	Units	
t	Thickness		9, 28, 52, 110	<1 to 1200	μm (micron, 10 ⁻⁶)	
d ₃₁	Piezo Strain Constant		-23	11	10 $\frac{\text{m/m}}{\text{V/m}}$ or $\frac{\text{C/m}^2}{\text{N/m}^2}$	
d ₃₂			-33	-38		
g ₃₁	Piezo Stress constant		216	162	10 ⁻³ $\frac{\text{V/m}}{\text{N/m}^2}$ or $\frac{\text{m/m}}{\text{C/m}^2}$	
g ₃₂			-330	-542		
k	Electromechanical Coupling Factor		12%	20%		
k _c			14%	25-29%		
C	Capacitance		380 for 28μm	68 for 100μm	pF/cm 1KHz	
Y	Young's Modulus		2-4	3-5	10 N/m ²	
V ₀	Speed of Sound	stretch: thickness:	1.5	2.3	10 ³ m/s	
			2.2	2.4		
p	Pyroelectric Coefficient		30	40	10 ⁻⁶ C/m ² EK	
ε̂	Permittivity		106-113	65-75	10 ⁻¹² F/m	
ε̂/ε̂ ₀	Relative Permittivity		12-13	7-8		
ρ _m	Mass Density		1.78	1.82	10 ³ kg/m	
ρ _e	Volume Resistivity		>10 ¹³	>10 ¹⁴	Ohm meters	
R _□	Surface Metallization Resistivity		<3.0	<3.0	Ohms/square for NiAl	
R _□			0.1	0.1	Ohms/square for Ag Ink	
tan δ	Loss Tangent		0.02	0.015	@ 1KHz	
	Yield Strength		45-55	20-30	10 N/m ² (stretch axis)	
	Temperature Range		-40 to 80...100	-40 to 115...145	°C	
	Water Absorption		<0.02	<0.02	% H ₂ O	
	Maximum Operating Voltage		750 (30)	750 (30)	V/μm(V/μm), DC, @ 25°C	
	Breakdown Voltage		2000 (80)	2000 (80)	V/μm(V/μm), DC, @ 25°C	

Les données ci-dessus donnent une approche des caractéristiques typiques des produits, le tableau suivant est un comparatif entre différents éléments piézoélectriques permettant d'appréhender les différences, par exemple, entre une piézite classique et un piézo-film.

Property	Units	PVDF Film	PZT	BaT j0
Density	10^3 kg/m^3	1.78	7.5	5.7
Relative Permittivity	ϵ/ϵ_0	12	1,200	1,700
d_{31} Constant	$(10^{-12}) \text{ C/N}$	23	110	78
d_{32} Constant	$(10^{-3}) \text{ Vm/N}$	216	10	5
k_{31} Constant	% at 1 KHz	12	30	21
Acoustic Impedance	$(10^{-3}) \text{ kg/m} \cdot \text{sec}^2$	2.7	30	30

Ci-dessous, les propriétés des piézocâbles.

Parameter	Units	Value
Capacitance @ 1KHz	pF/m	600
Tensile Strength	MPa	60
Young's Modulus	GPa	2.3
Density	kg/m^3	1890
Acoustic Impedance	MRayl	4.0
Relative Permittivity	@1KHz	9
$\tan \delta$	@1KHz	0.017
Hydrostatic Piezo Coefficient	pC/N	15
Longitudinal Piezo Coefficient	Vm/N	250×10^{-3}
Hydrostatic Piezo Coefficient	Vm/N	150×10^{-3}
Electromechanical Coupling	%	20
Energy Output	mJ/Strain (%)	10
Voltage Output	kV/Strain (%)	5

./