



HAL
open science

Effet électrocalorique pour les systèmes de refroidissement : mesure de température par thermoréfectance

Layla Farhat, Mathieu André Léo Maurice Bardoux, Stéphane Longuemart,
Benoit Duponchel, Ziad Herro, Abdelhak Hadj Sahraoui

► To cite this version:

Layla Farhat, Mathieu André Léo Maurice Bardoux, Stéphane Longuemart, Benoit Duponchel, Ziad Herro, et al.. Effet électrocalorique pour les systèmes de refroidissement : mesure de température par thermoréfectance. Congrès National de la Recherche des IUT, Université de Haute-Alsace (UHA) Mulhouse - Colmar [Université de Haute-Alsace (UHA)], Mar 2024, Mulhouse, France. hal-04619915

HAL Id: hal-04619915

<https://hal.science/hal-04619915>

Submitted on 21 Jun 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Effet électrocalorique pour les systèmes de refroidissement : mesure de température par thermoréfectance

L Farhat^{1,3} M Bardoux^{1,2} S Longuemart¹ B Duponchel¹ Z Herro³ A Hadj Saharaoui¹

mathieu.bardoux@univ-littoral.fr

¹ Université du Littoral Côte d'Opale
Unité de Dynamique et Structure des Matériaux Moléculaires

² IUT du Littoral Côte d'Opale, Université du Littoral Côte d'Opale
Métiers de la Transition et de l'Efficacité Énergétiques

³ Université Libanaise
Laboratoire de Physique Appliquée

THÈMES – *Énergie - Environnement - Matériaux*

RÉSUMÉ – *L'effet électrocalorique se caractérise par un changement de température d'un matériau soumis à une variation de champ électrique. Cet effet constitue une piste prometteuse pour des systèmes de réfrigération entièrement solides, alternatifs aux systèmes classiques utilisant des fluides nocifs pour l'environnement. Dans cet article, nous présentons une méthode de mesure directe de la variation de température électrocalorique dans des couches minces ferroélectriques, grâce à un système de mesure par thermoréfectance. Notre méthode de mesure est étalonnée sur un condensateur multicouche puis appliquée à des couches minces de copolymères à base de polyvinylidène : P(VDF-TrFE).*

MOTS-CLÉS – *Effet électro-calorique, thermoréfectance, conversion d'énergie*

1 Introduction

Le domaine du refroidissement présente de forts enjeux, tant sur le plan financier qu'environnemental. Les dispositifs de refroidissement sont nécessaires au bon fonctionnement de nos sociétés (refroidissement de serveurs, d'ordinateurs, transport et stockage de denrées périssables), et la satisfaction de ce besoin croissant repose aujourd'hui sur les technologies de refroidissement par compression de vapeur (CV), efficaces et maîtrisées, mais dont les inconvénients sont nombreux. Citons notamment l'utilisation de fluides nocifs pour l'environnement (couche d'ozone) et contributeurs à l'effet de serre [1].

Le développement de solutions de refroidissement solide permettrait de pallier les défauts du refroidissement traditionnel par CV. Les systèmes électrocaloriques (EC) font partie des technologies pressenties pour ce faire.

2 Refroidissement par effet électrocalorique

2.1 Définition de l'effet EC

L'effet électrocalorique s'observe dans certains matériaux lorsqu'un champ électrique leur est appliquée : celui-ci entraîne une libération d'énergie lors de la polarisation du matériau, qui produit une augmentation de température adiabatique (c'est à dire sans échange d'énergie avec l'extérieur). Cet effet est souvent exacerbé à proximité d'une transition de phase du matériau (changement d'un état ou d'une organisation vers un autre).

Découvert dans les années 1930 [2], il est longtemps resté peu étudié en raison des faibles variations de température associées. C'est la découverte d'un « effet électrocalorique géant » en 2006 [3] qui relance l'intérêt pour ce phénomène.

Lors de la relaxation du champ électrique, il se produit une absorption d'énergie au sein du matériau, qui entraîne une diminution de la température de celui-ci (figure 1).

Combiné avec un système « d'interrupteur thermique » pour gérer l'alternance refroidissement/réchauffement, l'effet électrocalorique peut être exploité dans des refroidisseurs électrocaloriques, où il sera utilisé pour générer un flux de chaleur à travers le matériau afin de refroidir une zone spécifique.

2.2 Cycle de refroidissement

Le refroidissement par effet électrocalorique n'utilise aucun fluide, et repose sur un cycle en quatre étapes (figure 3), analogue au cycle compression / condensation / détente / évaporation de la réfrigération classique par CV :

Échauffement adiabatique : un champ électrique est appliquée au matériau électrocalorique ; sous l'effet de la polarisation, le matériau se réchauffe adiabatiquement, c'est-à-dire sans échange de chaleur avec l'environnement.

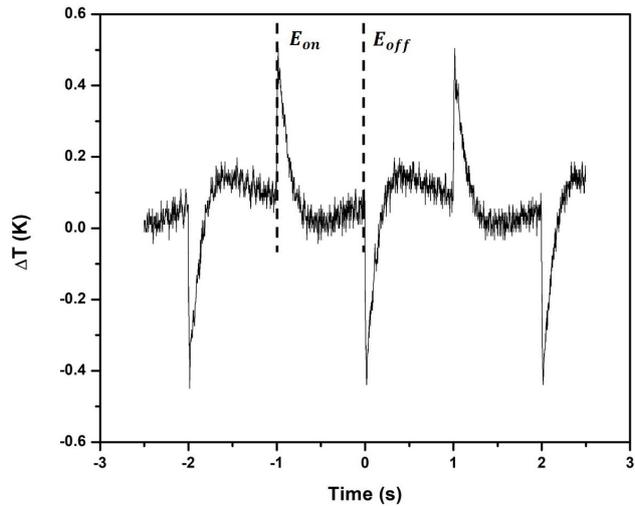


FIGURE 1 – Variation de la température de surface d'un condensateur multicouche soumis à un champ électrique discontinu. [4]

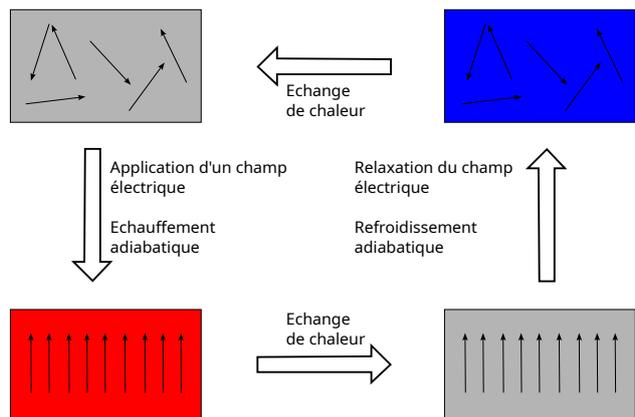


FIGURE 2 – Cycle de refroidissement par effet électrocalorique

Échange de chaleur : la température du matériau ayant augmenté, elle est supérieure à celle de son environnement. Le matériau cède donc de la chaleur à celui-ci, et se refroidit.

Refroidissement adiabatique : lorsque le champ électrique est relaxé, le matériau se dépoliarise et subit alors un refroidissement adiabatique, entraînant une diminution de sa température.

Échange de chaleur : le matériau ayant atteint une température plus basse que son environnement, il absorbe la chaleur avec son environnement, et sa température augmente.

3 Mesures de température dans des couches minces EC

3.1 Choix du matériau : P(VDF-TrFE)

Les polymères à base de fluorure de polyvinylidène constituent l'un des groupes de matériaux EC les plus prometteurs et les plus étudiés, en raison de leur effet EC important, de leur flexibilité, de leur légèreté, de leur faible coût de fabrication et de leur capacité à produire une puissance de refroidissement élevée. Notre choix s'est porté sur les copolymères P(VDF-TrFE) 55/45 mol%, en raison de leur température de transition de phase FE-PE assez basse (70°C), favorable aux applications dans le domaine de la réfrigération à une température « proche » de la température ambiante.

3.2 Mesures par thermoréfectance

La couche mince (1.41 μm) de P(VDF-TrFE) est placée entre deux électrodes conductrices (or et ITO) qui permettront de lui appliquer un champ électrique périodique jusqu'à 150 MV m^{-1} , tandis que la couche d'or sert également de transducteur pour une mesure par thermoréfectance. Cette technique exploitant les variations de réflectivité de surface est particulièrement bien adaptée aux couches minces [5].

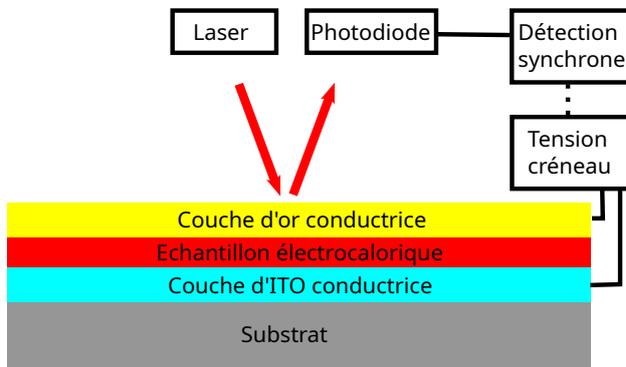


FIGURE 3 – Principe des mesures par thermoréfectance

3.3 Résultats

Les mesures de température en fonction du champ appliqué sont représentées sur la figure 4, pour une fréquence électrique de 500 ms. D'autres mesures sont effectuées à des fréquences plus élevées : à partir de 5 Hz, on observe une dégradation sensible du signal EC obtenu.

4 Conclusions

Nous avons présenté une méthode directe pour mesurer l'effet électrocalorique dans un film mince de P(VDF-TrFE)55/45 déposé sur un substrat flexible en PET.

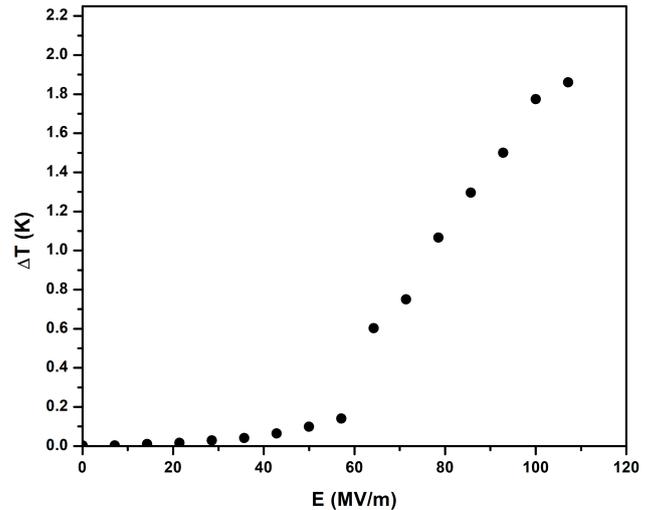


FIGURE 4 – Variation de la température de surface en fonction du champ électrique appliqué à l'échantillon

Nos mesures révèlent un effet EC important à température ambiante, avec un ΔT proche de 2°C pour un champ de 150 MV m^{-1} . En outre, nous avons étudié la réponse du P(VDF-TrFE) en température dans plusieurs gammes de fréquences : pour obtenir un cycle de refroidissement et de chauffage assez stable, il est préférable de faire fonctionner le matériau EC dans un régime de basse fréquence (≤ 1 Hz).

L'effet du substrat, du traitement thermique et d'autres conditions de fabrication sur l'effet EC direct, doivent faire l'objet d'études plus approfondies pour ouvrir la voie à de nouveaux dispositifs électroniques flexibles, basés sur des films minces de copolymères, pour des applications de micro-refroidissement et de refroidissement de semi-conducteurs.

Références

- [1] J. McMullan, *Refrigeration and the environment – issues and strategies for the future*, International Journal of Refrigeration (2002), p. 11
- [2] P. Kobeco, I.V.Kurtchatov, *Dielectric properties of Rochelle salt crystal*, Z. Phys. 66 (1930), p 192–205.
- [3] A. Mischenko et al, *Giant electrocaloric effect in thin-film PbZr0.95Ti0.05O3*, Science, 321 (2006), p 1270–1271
- [4] L. Farhat et al, *Measurement of the dynamic temperature response of electrocaloric effect in solid ferroelectric materials via thermoreflectance*, Phase transitions (2023), p. 1-9
- [5] Élie Badine, *Étude des phénomènes de transport thermique dans les couches minces par thermoréfectance*, Thèse de doctorat en Sciences pour l'ingénieur, 2019