



GEMaC

Groupe d'Étude
de la Matière Condensée

ANALYSE THERMIQUE À HAUTE RÉSOLUTION SPATIALE PAR THERMORÉFLECTANCE DE COMPOSANTS DE PUISSANCE

Présentée par Monsieur Youssef Metayrek

Résumé :

L'évolution technologique des composants de puissance passe par une forte augmentation des densités de puissance. Ceci entraîne des champs et gradients de températures très élevés au niveau des composants et rend nécessaire la connaissance des contraintes thermiques. La température est donc un des éléments dimensionnant des convertisseurs et est au centre des préoccupations des concepteurs.

Pour caractériser les contraintes thermiques de ces composants, la méthode de thermoréfectance a été mise en œuvre. Le travail présenté dans ce mémoire se compose de trois grandes parties. Dans la première, nous mettons en évidence la

problématique du recalage nécessité par l'utilisation de la thermoréfectance. Nous étudions deux méthodes de recalage subpixelique afin de choisir la méthode la plus adéquate pour obtenir une mesure de réflectivité précise. Les résultats montrent que le recalage par corrélation croisée subpixelisé avec un pas précis donne les meilleurs résultats et que ce pas est corrélé directement avec le niveau de bruit des images.

Dans la deuxième partie, nous présentons une méthodologie de mesure sur une puce IGBT packagée dans un module de puissance. Cette méthodologie a pour but de déterminer plusieurs paramètres expérimentaux (la longueur d'onde optimale, la fréquence d'excitation minimale et l'influence d'accumulation d'images sur le bruit) et de choisir la méthode de calibration la mieux adaptée pour ce type de composants. Tout ceci permet de réaliser une mesure thermique détaillée sur la métallisation d'émetteur IGBT.

Enfin, nous démontrons qu'il est possible de réaliser des mesures thermiques de modules de puissance à travers le gel de silicone et étudions l'influence du vieillissement sur la cartographie thermique. Les résultats obtenus reflètent bien la réalité du comportement thermique des IGBT dans les modules de puissance. Les mesures thermiques réalisés dans cette thèse ont montré la capacité de la thermoréfectance à obtenir une cartographie de température à haute résolution spatiale.

Abstract:

The technological evolution of IGBT components involves a strong increase in power densities. This leads to very high temperature fields and gradients in the components and makes it necessary to know the thermal constraints. The temperature is therefore one of the dimensioning elements of the converters and is at the center of the designers' concerns.

To characterize the thermal stresses of these components, we implemented the thermorefectance method. The work presented in this thesis consists of three main parts. In the first part, we highlight the problem of registration required by the use of thermorefectance. We study two methods of subpixel shift in order to choose the most adequate method to obtain an accurate reflectivity measurement. The results show that subpixel cross-correlation registration with a precise step gives the best results and that this step is directly correlated with the noise level of the images.

In the second part, we present a measurement methodology on an IGBT chip packaged in a power module. This methodology aims to determine several experimental parameters (the optimal wavelength, the minimum excitation frequency and the influence of image accumulation on the noise) and to choose the most suitable calibration method for this type of components. All this allows to perform a detailed thermal measurement on the metallization of IGBT emitter.

Finally, we demonstrate that it is possible to perform thermal measurements of power modules through silicone gel and study the influence of aging on the thermal mapping. The results obtained perfectly reflect the reality of the thermal behavior of IGBTs in power modules. The thermal measurements performed in this thesis have shown the ability of thermoreflectance to obtain a high spatial resolution temperature map

```
/*<!-- /* Font Definitions */@font-face {font-family:Arial; panose-1:2 11 6 4 2 2 2 2 4; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536859905 -1073711037 9 0 511 0;}@font-face {font-family:"Cambria Math"; panose-1:2 4 5 3 5 4 6 3 2 4; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536870145 1107305727 0 0 415 0;}@font-face {font-family:Calibri; panose-1:2 15 5 2 2 2 4 3 2 4; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-520092929 1073786111 9 0 415 0;} /* Style Definitions */p.MsoNormal, li.MsoNormal, div.MsoNormal {mso-style-unhide:no; mso-style-qformat:yes; mso-style-parent:""; margin-top:0cm; margin-right:0cm; margin-bottom:10.0pt; margin-left:0cm; line-height:115%; mso-pagination:none; font-size:11.0pt; font-family:Calibri; mso-ascii-font-family:Calibri; mso-ascii-theme-font:minor-latin; mso-fareast-font-family:Calibri; mso-fareast-theme-font:minor-latin; mso-hansi-font-family:Calibri; mso-hansi-theme-font:minor-latin; mso-bidi-font-family:"Times New Roman"; mso-bidi-theme-font:minor-bidi; mso-ansi-language:EN-US; mso-fareast-language:EN-US;}.MsoChpDefault {mso-style-type:export-only; mso-default-props:yes; font-size:11.0pt; mso-ansi-font-size:11.0pt; mso-bidi-font-size:11.0pt; font-family:Calibri; mso-ascii-font-family:Calibri; mso-ascii-theme-font:minor-latin; mso-fareast-font-family:Calibri; mso-fareast-theme-font:minor-latin; mso-hansi-font-family:Calibri; mso-hansi-theme-font:minor-latin; mso-bidi-font-family:"Times New Roman"; mso-bidi-theme-font:minor-bidi; mso-ansi-language:EN-US; mso-fareast-language:EN-US;}.MsoPapDefault {mso-style-type:export-only; margin-bottom:10.0pt; line-height:115%; mso-pagination:none;}@page WordSection1 {size:596.0pt 842.0pt; margin:49.0pt 51.0pt 0cm 51.0pt; mso-header-margin:37.45pt; mso-footer-margin:36.0pt; mso-paper-source:0;}div.WordSection1 {page:WordSection1;}@page WordSection2 {size:596.0pt 842.0pt; margin:49.0pt 51.0pt 14.0pt 52.0pt; mso-header-margin:37.45pt; mso-footer-margin:0cm; mso-paper-source:0;}div.WordSection2 {page:WordSection2;}--> /* / */<!-- /* Font Definitions */@font-face {font-family:Arial; panose-1:2 11 6 4 2 2 2 2 4; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536859905 -1073711037 9 0 511 0;}@font-face {font-family:Times; panose-1:2 0 5 0 0 0 0 0 0 0; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:3 0 0 0 1 0;}@font-face {font-family:"&#65325;&#65331; &#26126;&#26397;"; mso-font-charset:78; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536870145 1791491579 18 0 131231 0;}@font-face {font-family:"Cambria Math"; panose-1:2 4 5 3 5
```

4 6 3 2 4; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536870145 1107305727 0 0 415 0;}@font-face {font-family:Cambria; panose-1:2 4 5 3 5 4 6 3 2 4; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536870145 1073743103 0 0 415 0;} /* Style Definitions */p.MsoNormal, li.MsoNormal, div.MsoNormal {mso-style-unhide:no; mso-style-qformat:yes; mso-style-parent:""; margin:0cm; margin-bottom:.0001pt; mso-pagination:widow-orphan; font-size:11.0pt; font-family:Cambria; mso-ascii-font-family: Cambria; mso-ascii-theme-font:minor-latin; mso-fareast-font-family:Cambria; mso-fareast-theme-font:minor-latin; mso-hansi-font-family:Cambria; mso-hansi-theme-font:minor-latin; mso-bidi-font-family:"Times New Roman"; mso-bidi-theme-font:minor-bidi; mso-fareast-language:EN-US;}.MsoChpDefault {mso-style-type:export-only; mso-default-props:yes; font-size:11.0pt; mso-ansi-font-size:11.0pt; mso-bidi-font-size:11.0pt; font-family: Cambria; mso-ascii-font-family:Cambria; mso-ascii-theme-font:minor-latin; mso-fareast-font-family:"ＭＳ 明朝"; mso-fareast-theme-font:minor-fareast; mso-hansi-font-family:Cambria; mso-hansi-theme-font:minor-latin; mso-bidi-font-family:"Times New Roman"; mso-bidi-theme-font:minor-bidi; mso-ansi-language:EN-GB; mso-fareast-language:JA;}@page WordSection1 {size:612.0pt 792.0pt; margin:70.85pt 70.85pt 70.85pt 70.85pt; mso-header-margin:36.0pt; mso-footer-margin:36.0pt; mso-paper-source:0;}div.WordSection1 {page:WordSection1;}--> /**/ /**/<!-- /* Font Definitions */@font-face {font-family:Arial; panose-1:2 11 6 4 2 2 2 2 4; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536859905 -1073711037 9 0 511 0;}@font-face {font-family:"ＭＳ 明 朝"; mso-font-charset:78; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536870145 1791491579 18 0 131231 0;}@font-face {font-family:"ＭＳ 明朝"; mso-font-charset:78; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536870145 1791491579 18 0 131231 0;}@font-face {font-family:Cambria; panose-1:2 4 5 3 5 4 6 3 2 4; mso-font-charset:0; mso-generic-font-family:auto; mso-font-pitch:variable; mso-font-signature:-536870145 1073743103 0 0 415 0;} /* Style Definitions */p.MsoNormal, li.MsoNormal, div.MsoNormal {mso-style-unhide:no; mso-style-qformat:yes; mso-style-parent:""; margin:0cm; margin-bottom:.0001pt; mso-pagination:widow-orphan; font-size:11.0pt; font-family:Cambria; mso-ascii-font-family:Cambria; mso-ascii-theme-font:minor-latin; mso-fareast-font-family: Cambria; mso-fareast-theme-font:minor-latin; mso-hansi-font-family:Cambria; mso-hansi-theme-font:minor-latin; mso-bidi-font-family:"Times New Roman"; mso-bidi-theme-font: minor-bidi; mso-fareast-language:EN-US;}.MsoChpDefault {mso-style-type:export-only; mso-default-props:yes; font-size:11.0pt; mso-ansi-font-size:11.0pt; mso-bidi-font-size:11.0 pt; font-family:Cambria; mso-ascii-font-family:Cambria; mso-ascii-theme-font:minor-latin; mso-fareast-font-family:"ＭＳ 明朝"; mso-fareast-theme-font:

minor-fareast; mso-hansi-font-family:Cambria; mso-hansi-theme-font:minor-latin; mso-bidi-font-family:"Times New Roman"; mso-bidi-theme-font:minor-bidi; mso-ansi-language:EN-GB; mso-fareast-language:JA;}@page WordSection1 {size:612.0pt 792.0pt; margin:70.85pt 70.85pt 70.85pt 70.85pt; mso-header-margin:36.0pt; mso-footer-margin:36.0pt; mso-paper-source:0;}div.WordSection1 {page:WordSection1;}--> /**/