



## 使用共軛拉曼顯微鏡分析複合半導體

### 拉曼分析揭示三維微結構、應力分佈

拉曼和光致發光 (PL) 顯微鏡是適合複合半導體裝置的非侵入性表徵技術。它們可以共同提供亞微米分辨率的振動、晶體和電子結構資訊。Renishaw 的拉曼系統可以對複合半導體進行自動拉曼和 PL 測量。

複合半導體為下一代電子設備提供了理想的特性。從歷史上看，這些設備的製造一直受到材料挑戰的阻礙。這些問題主要在研究層面已被克服，但在工業生產中仍存在一些問題。測量化合物半導體時，拉曼光譜和 PL 光譜可獲得以下資訊：

- 化學鑑別
- 合金百分比
- 應變/壓力
- 摻雜濃度
- 薄膜厚度
- 晶體結構類型和取向
- 晶體品質和缺陷水平
- 樣品均勻性
- 顆粒分析  
例如 SiC 夾雜物
- 污染物識別
- 樣品形貌 (晶圓彎曲)
- 樣品溫度(在操作設備中)

在此應用說明中，我們提供了一些範例來展示拉曼顯微鏡的強大功能及其研究材料挑戰的能力。

## 評估 AlGaIn/GaN 異質結構晶片

多年來，GaN 基元件的發展受到低品質材料的阻礙。雖然這種情況已不復存在，但大規模生產所需的擴大規模仍然具有挑戰性，讓新設備上線並以最佳效率運行的過程也是如此。這裡我們說明如何將 inVia 共軛拉曼顯微鏡用作研究晶圓的品質控制工具。所分析的晶圓由在 300  $\mu\text{m}$  藍寶石基板上生長的 2  $\mu\text{m}$  GaN 層上的 30 nm Al<sub>0.28</sub>Ga<sub>0.72</sub>N 層組成。使用不同的雷射激發波長收集拉曼光譜和 PL 光譜，從而可以研究結構中的不同層。

圖 1 和圖 2 說明了使用不同的激發波長從結構的不同層收集的光譜。透過分析這些模式可以量化晶體質量、應力、自由載子濃度和鋁含量。

在這種情況下，GaN 層的分析表明，該層具有高度的均勻性，但應力有細微的變化，如圖 3a 中的 E2 峰值位置所示。發現 AlGaIn 層在晶圓邊緣（向內半徑達 5 mm）的 Al 濃度變化顯著，高達 0.5%。此外，LiveTrack™ 焦點追蹤技術可在拉曼測量過程中保持樣品的焦點。LiveTrack 技術同時測量了晶圓的彎曲度。圖 3b 和 3c 說明了這一點。

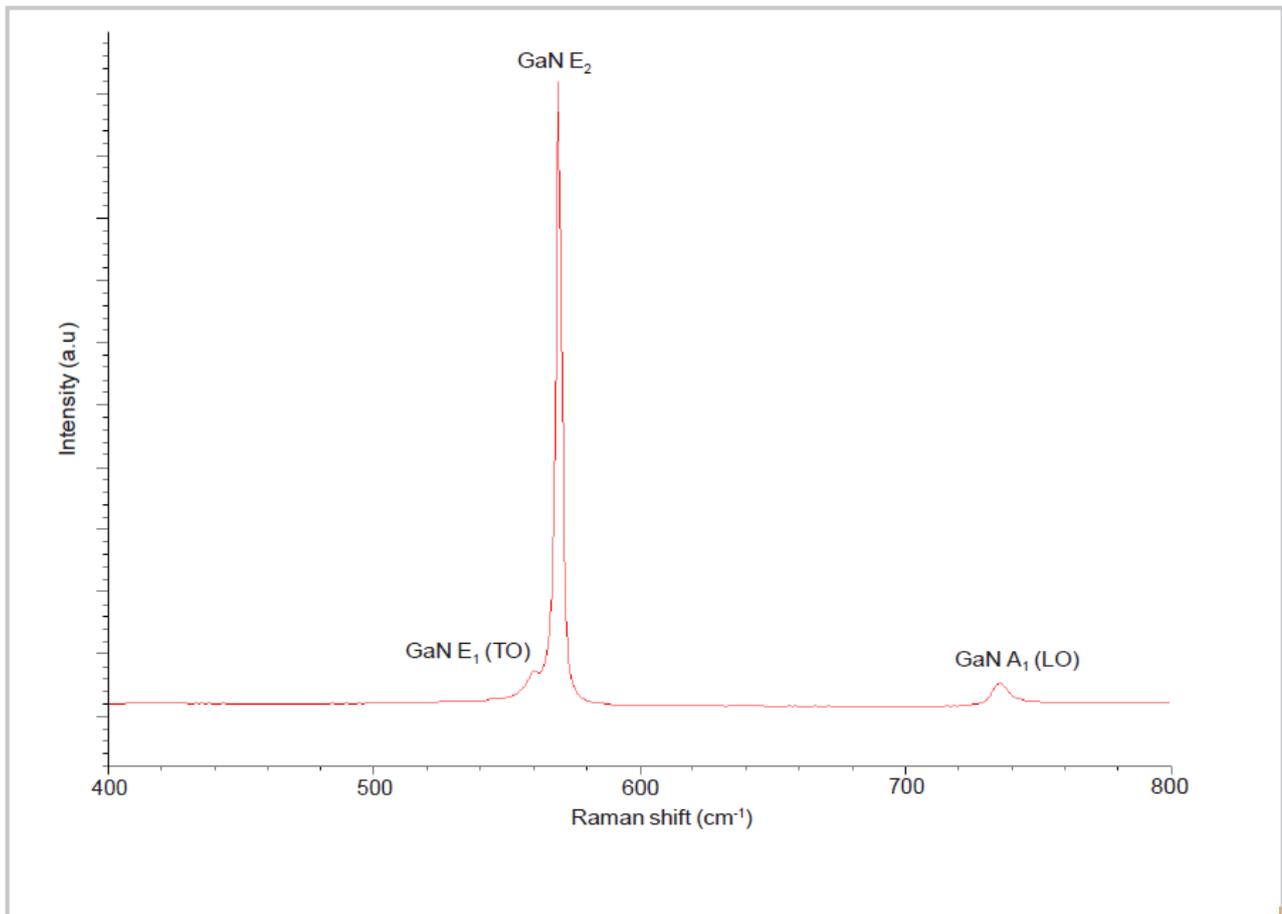


圖 1. AlGaIn/GaN 異質結構中不同層的拉曼光譜。拉曼光譜探測的深度取決於激發波長。這裡使用紫外線激發雷射來測量超薄 AlGaIn 層。

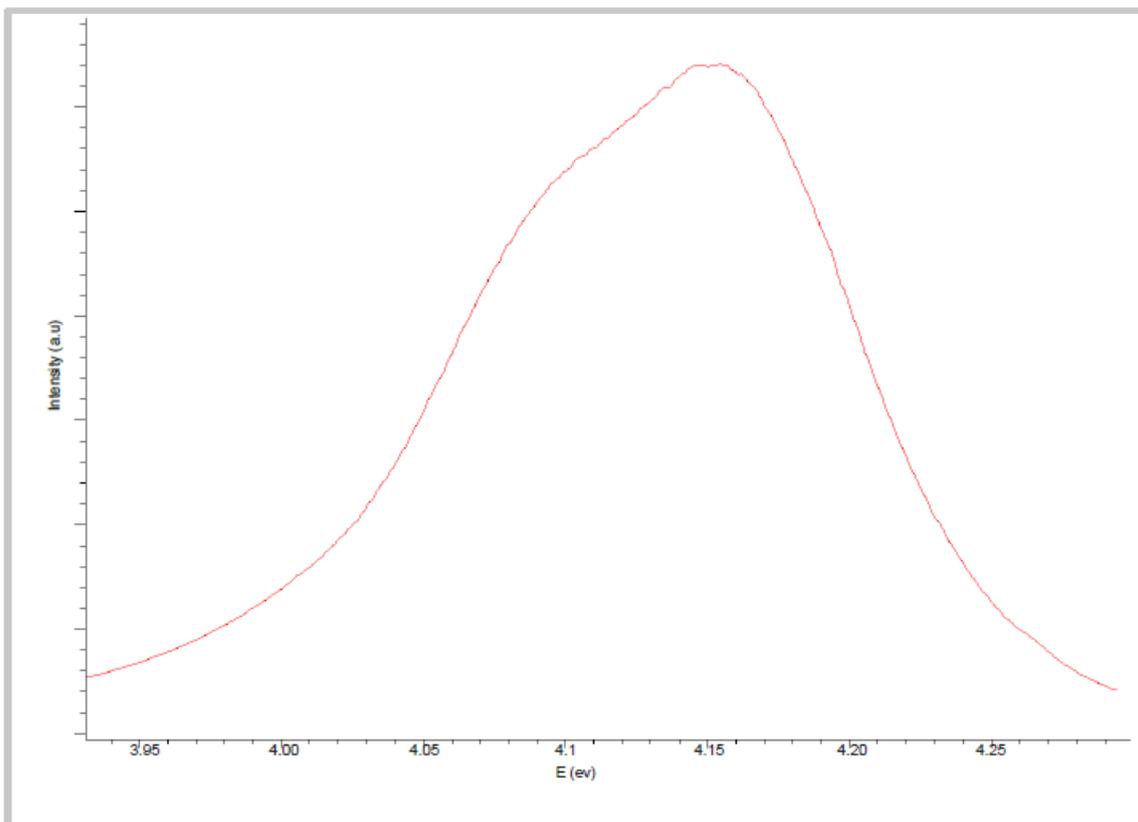


圖 2. AlGaIn 層的光致發光

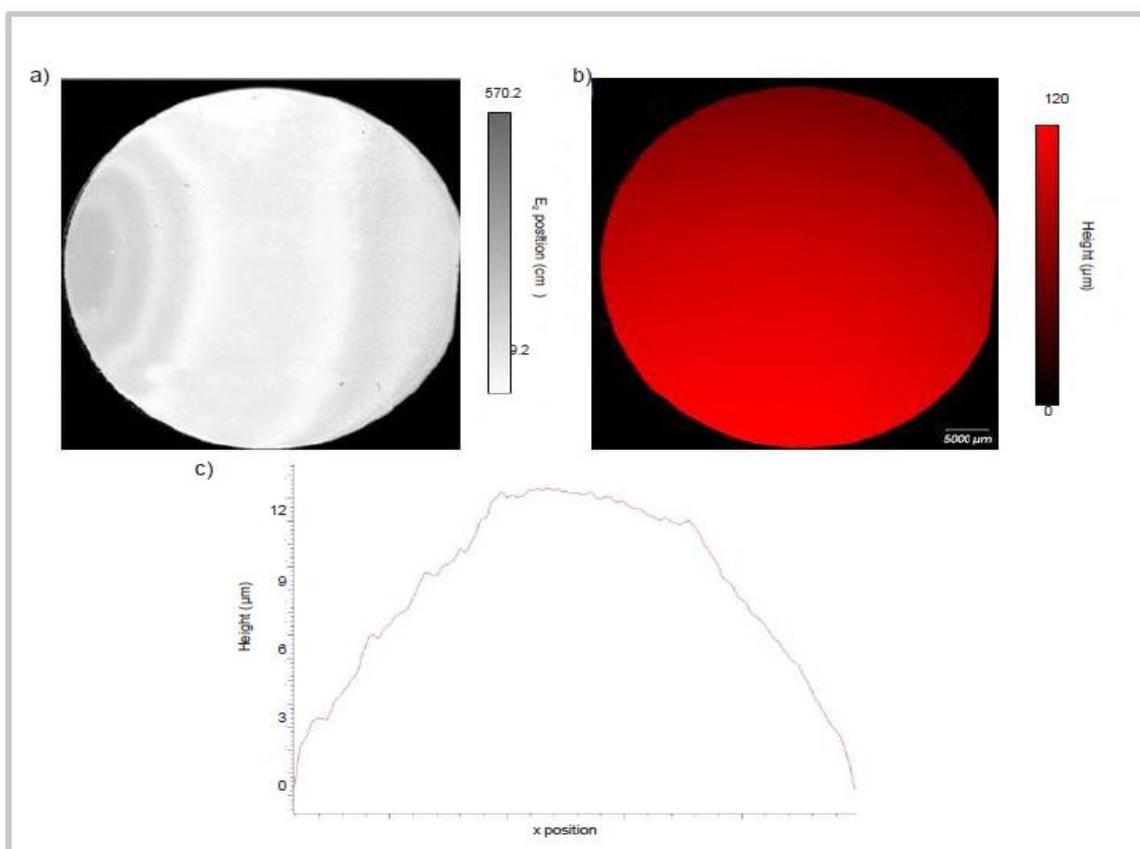


圖 3. (a) E2 模式的峰值位置說明了晶圓上的應力。 (b) 拉曼測量期間收集的形貌影像。 (c) 減去晶圓傾斜度後的晶圓彎曲度。

## GaN 微結構的 3D 影像與應力分析

GaN 中的穿透位錯充當光和電荷載流子的散射中心。這些位錯可能會影響 LED 等光電設備的性能。了解穿透位錯的空間分佈可以使用更多新穎的方法來優化層生長。這裡我們描述了用外延橫向生長 (ELOG) 技術生長的樣本的微觀結構和應力。ELOG 使用由規則排列的奈米線組成的生長孔來控制聚結過程。

使用配備 150 mW 532 nm 雷射激發源的 inVia 顯微鏡進行拉曼測量。圖 4 展示了從樣本收集到的典型光譜。透過將雷射聚焦在一定深度範圍內，從生長後的樣本中收集 3D 拉曼數據。為了進行比較，透過中斷生長並將樣品轉移到 SEM 來收集生長過程中的 SEM 圖像。這些影像如圖 5 所示。

拉曼強度圖像清晰地說明了樣品的微觀結構，揭示了位錯密度增加的區域，並與 SEM 圖像表現出極好的一致性。這表明拉曼成像可以在生長後使用，而不是更複雜的中斷生長和 SEM 分析。

透過檢查 E2 拉曼譜帶的峰值位置 (圖 4)，可以研究樣品中的應力分佈，變化量為  $2.7 \text{ cm}^{-1}$ ，對應 1 GPa。在  $-5\mu\text{m}$  深度處，微觀結構 (強度影像) 和應力分佈之間有明顯的相關性。接近表面時，層中的峰值位置變化變得更加一致，並向上移向預期的無應力值 ( $567.5 \text{ cm}^{-1}$ ) 如圖 6 所示。

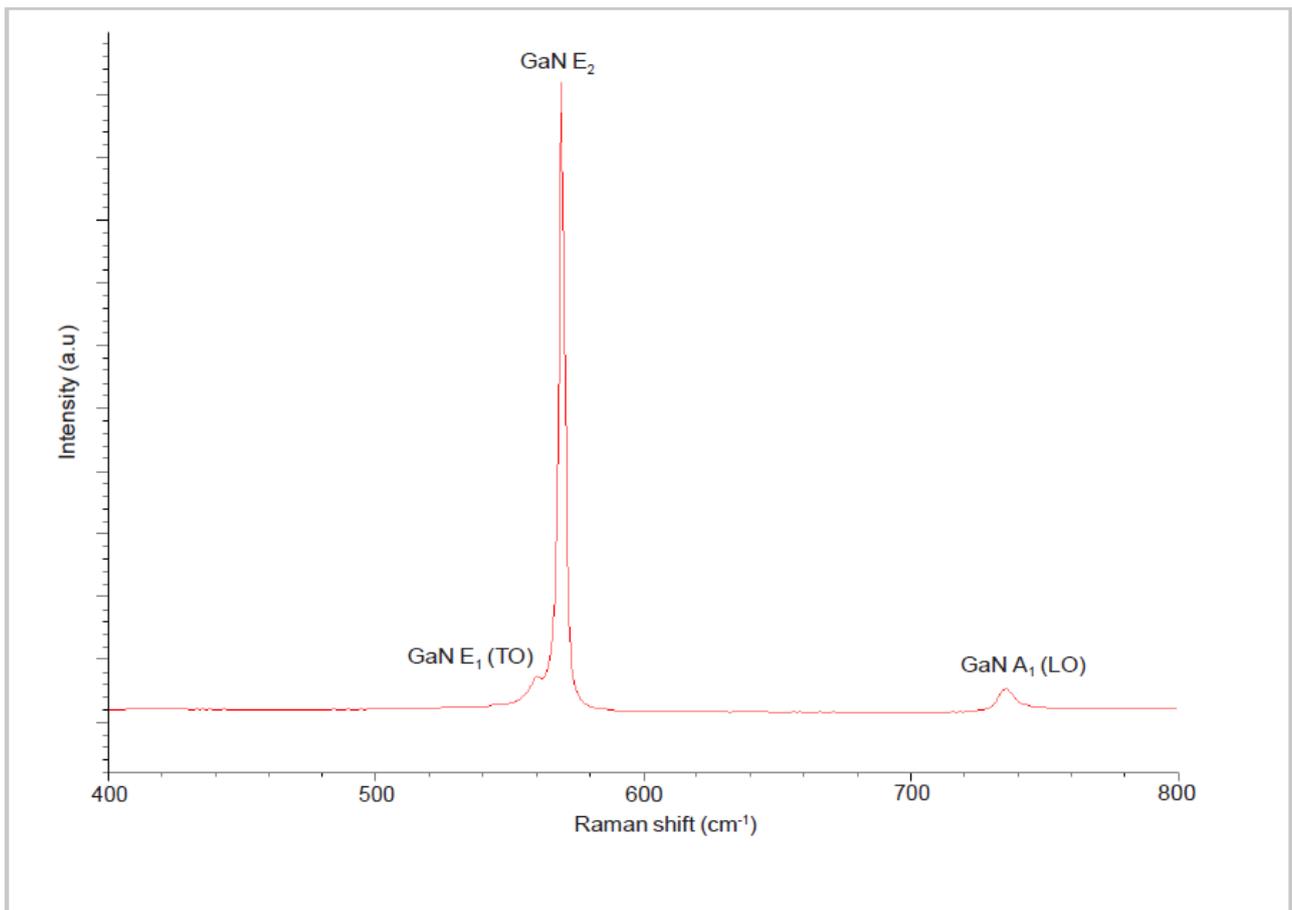


圖 4. 標記有 GaN 拉曼模式的新型奈米結構的典型光譜。E1(TO) 模式的出現是由於材料的離軸生長。

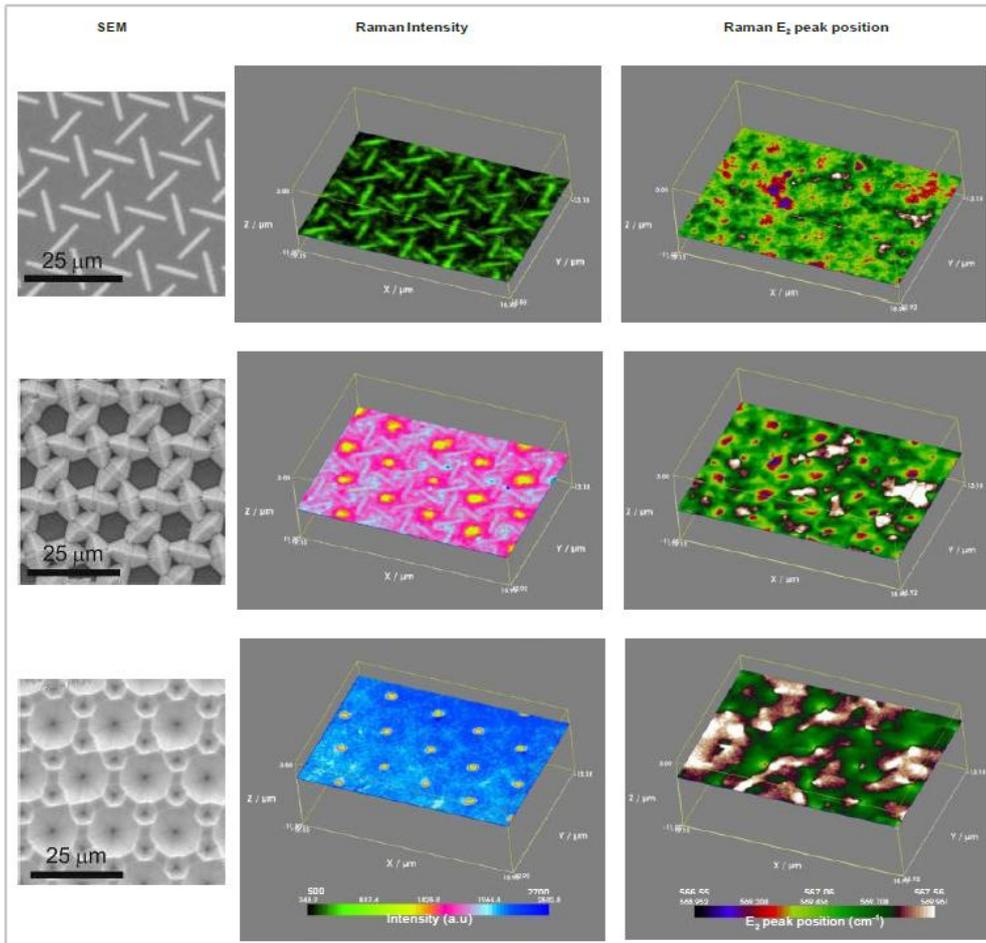


圖 4. 標記有 GaN 拉曼模式的新型奈米結構的典型光譜。

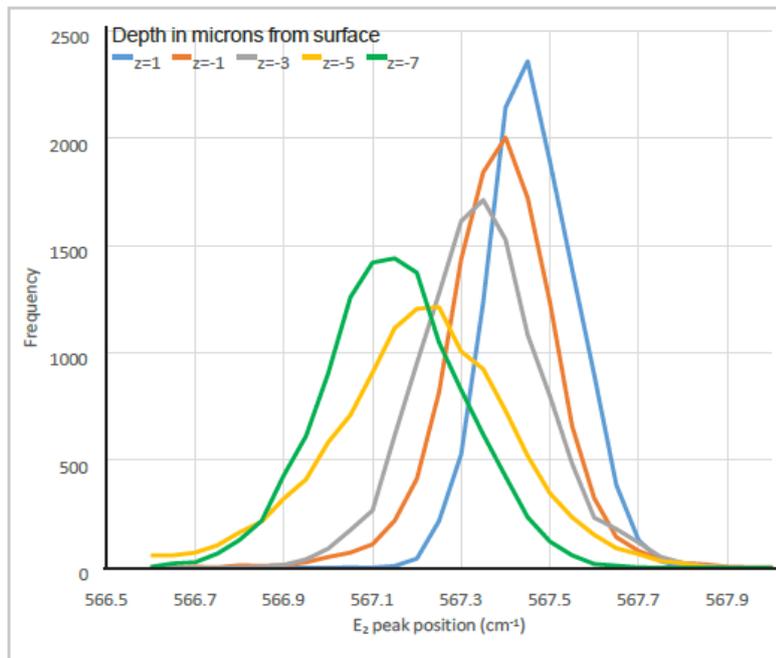


圖 6. 直方圖顯示了結構中不同深度處 E2 峰值位置的變化。典型的峰值位置向無應力值 567.5 cm<sup>-1</sup> 上移，並且從樣品本體移動到樣品表面時分佈變得更尖銳。

## HEMT 裝置的拉曼熱成像

裝置峰值工作溫度是估算裝置壽命的關鍵參數，用於模擬壽命測試。傳統方法（電學和紅外線）的空間解析度較差。這些方法通常給出整個設備的平均溫度，嚴重低估了峰值溫度。由 Martin Kuball 等人開創的工作，已經證明拉曼光譜是測量直流[1]和脈衝模式[2]下峰值工作溫度的絕佳工具。

拉曼熱成像技術的工作原理是材料的光子能量隨溫度而變化。圖 7 說明了開啟和夾斷 HEMT 裝置的拉曼帶位置的變化。這種變化與溫度直接相關。透過對設備進行拉曼圖分析，可以以亞微米分辨率確定其溫度分佈。圖 8 說明了在藍寶石和 SiC 基板上製造的 HEMT 源極汲極之間的溫度分佈。從中可以看出，當元件在峰值溫度 180°C 下運作時，SiC 上的裝置可以以 3 倍以上的功率密度運作。

這是因為與藍寶石相比，SiC 具有更好的熱導率。此外，由於 GaN 的熱導率高於藍寶石，因此藍寶石上的裝置具有更平坦的溫度分佈。這導致更多的熱量水平擴散，而不是垂直擴散。

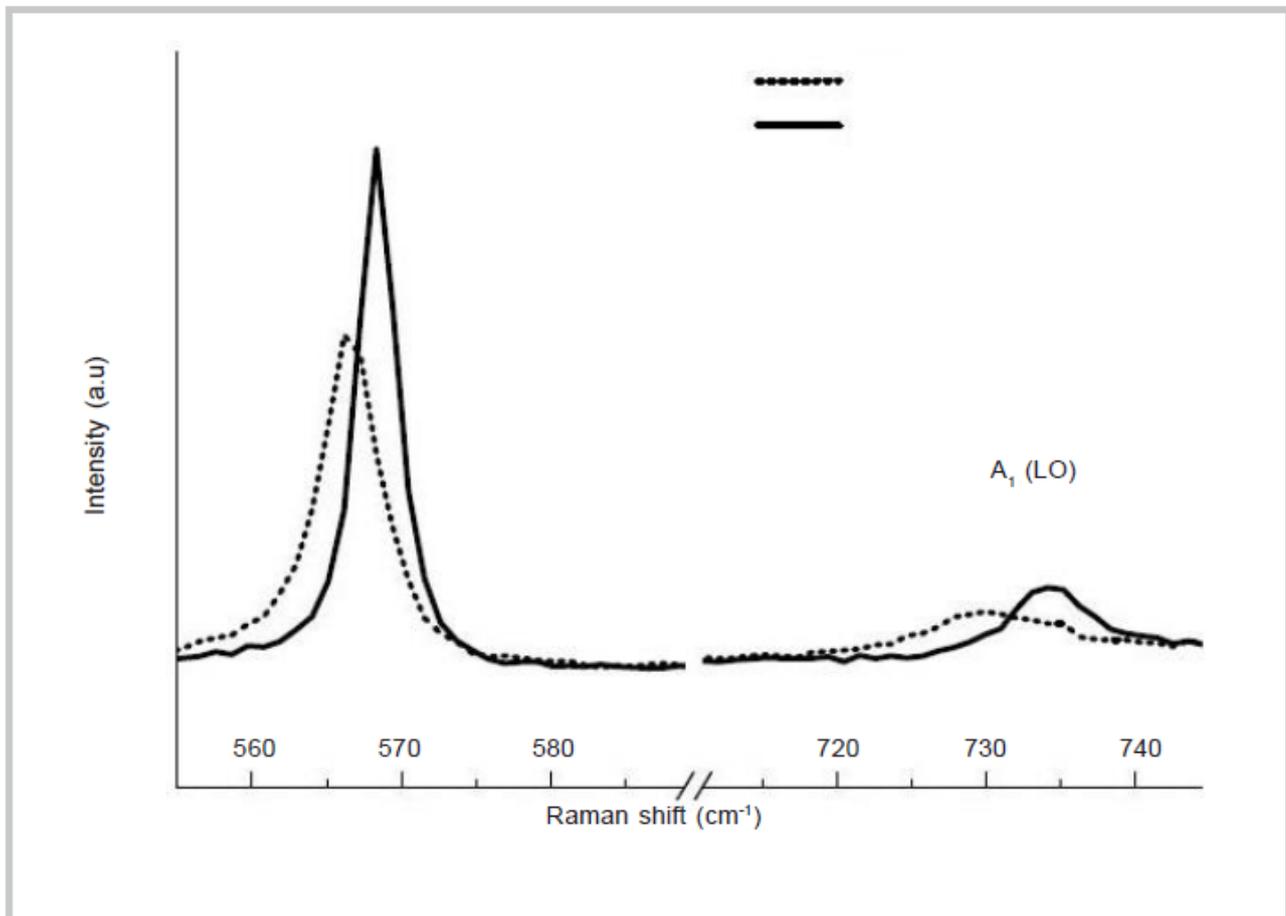


圖 7. 開啟（熱）與夾斷（冷）設備的拉曼光譜比較。

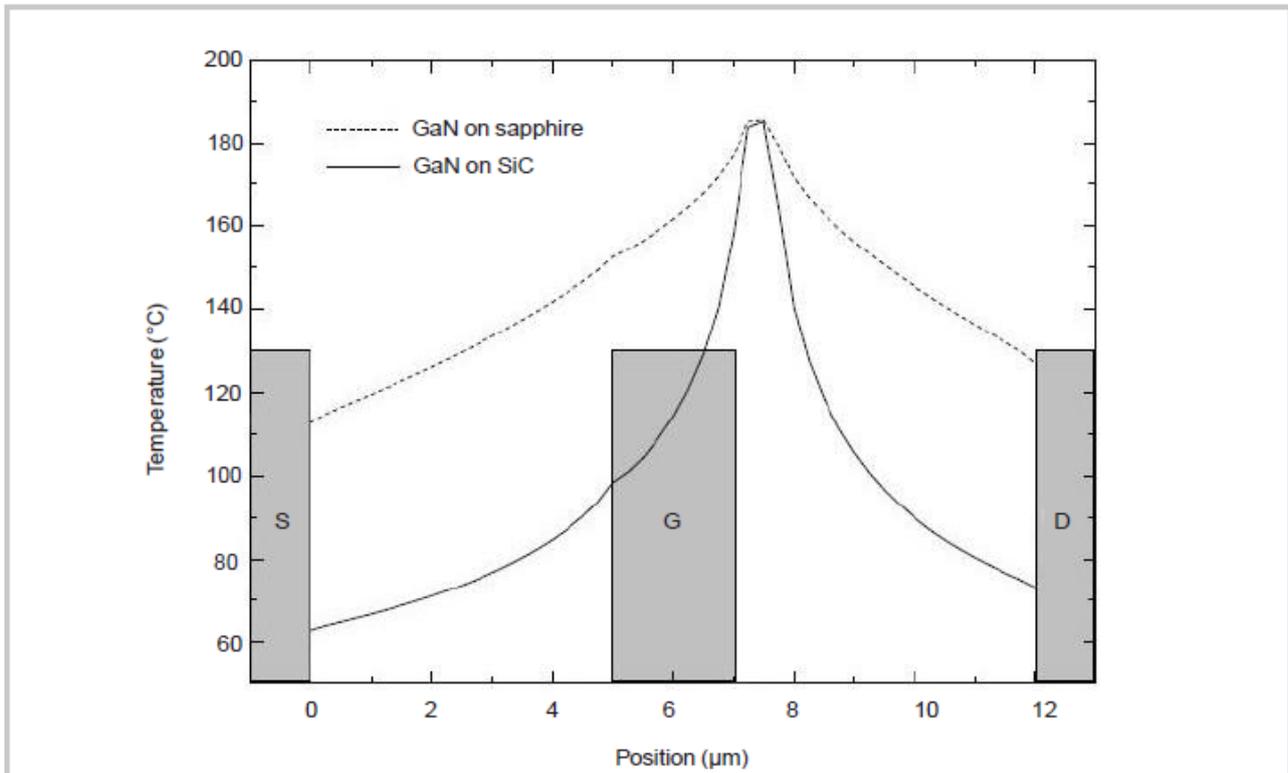


圖 8. 在藍寶石和 SiC 基板上製造的 HEMT 的溫度分佈。

## 結論

這些範例說明如何使用 Renishaw 共軛拉曼顯微鏡研究複合半導體的性質，包括：

- 化學成分
- 壓力/應變
- 設備溫度
- 晶體結構
- 缺陷
- 光致發光(已編輯)

## Acknowledgements

We would like to thank Dr Emmanuel Le Boulbar, Professor Duncan Allsopp and Professor Philip Shields from the University of Bath for providing the ELOG sample.

## References

- [1] Kuball, M., Hayes, J. M., Uren, M. J., Martin, I., Birbeck, J. C. H., Balmer, R. S., & Hughes, B. T. (2002). Measurement of temperature in active high-power AlGaIn/GaN HFETs using Raman spectroscopy. *IEEE Electron Device Letters*, 23(1), 7-9.
- [2] Kuball, M., Riedel, G. J., Pomeroy, J. W., Sarua, A., Uren, M. J., Martin, T., ... & Wallis, D. J. (2007). Time-resolved temperature measurement of AlGaIn/GaN electronic devices using micro-Raman spectroscopy. *IEEE electron device letters*, 28(2), 86-89.



## Utek 友德國際



官方line 官方網站 官方FB



台北：02-2799-3339 台南：06-311-3636  
台中：04-2222-3998 高雄：07-555-5595



info@utekinco.com.tw



www.utekinco.com.tw