

無應力矽鍺合金層的光學特性

Optical Properties of Relaxed SiGe Alloy

指導老師：賈至達博士

研究生：賴莉雯

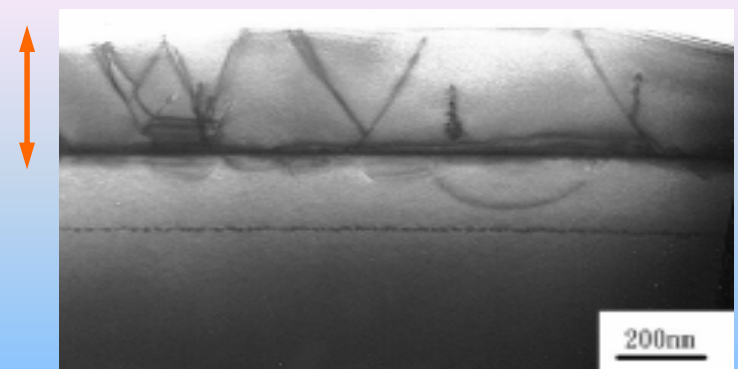
中華民國 九十一年 六月

摘要

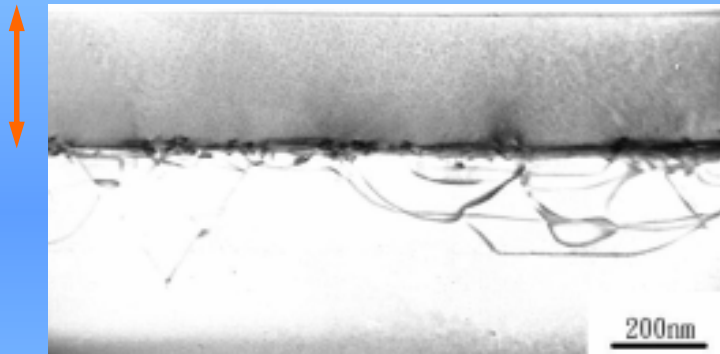
- $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金的成份及應力分析
- 擬合臨界能量 E_1 和 $E_1 + \frac{1}{2}(E_0')$
- 擬合樣品厚度並算吸收係數
- 溫度對聲子的效應
- 結論



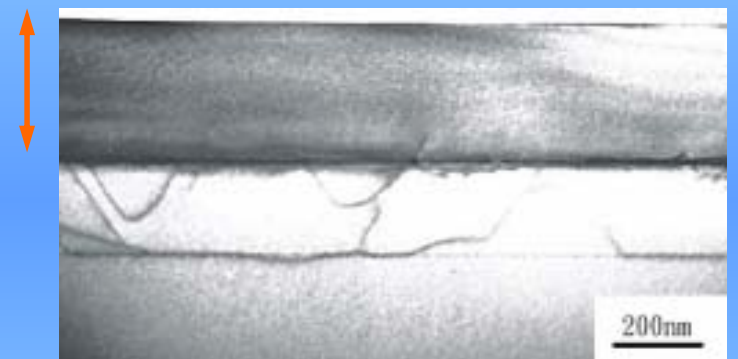
LT-Si 600 °C (# 319)



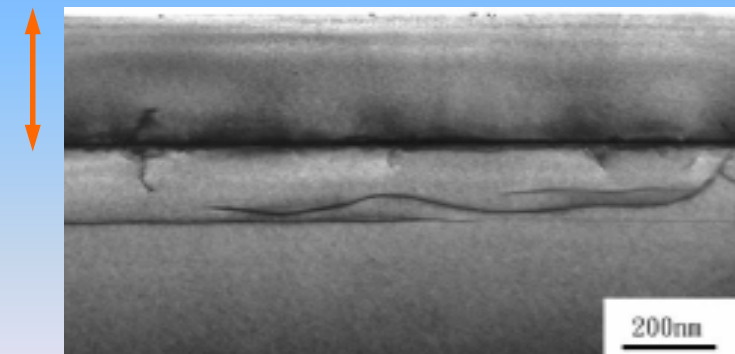
LT-Si 550 °C (# 320)



LT-Si 500 °C (# 323)



LT-Si 450 °C (# 322)

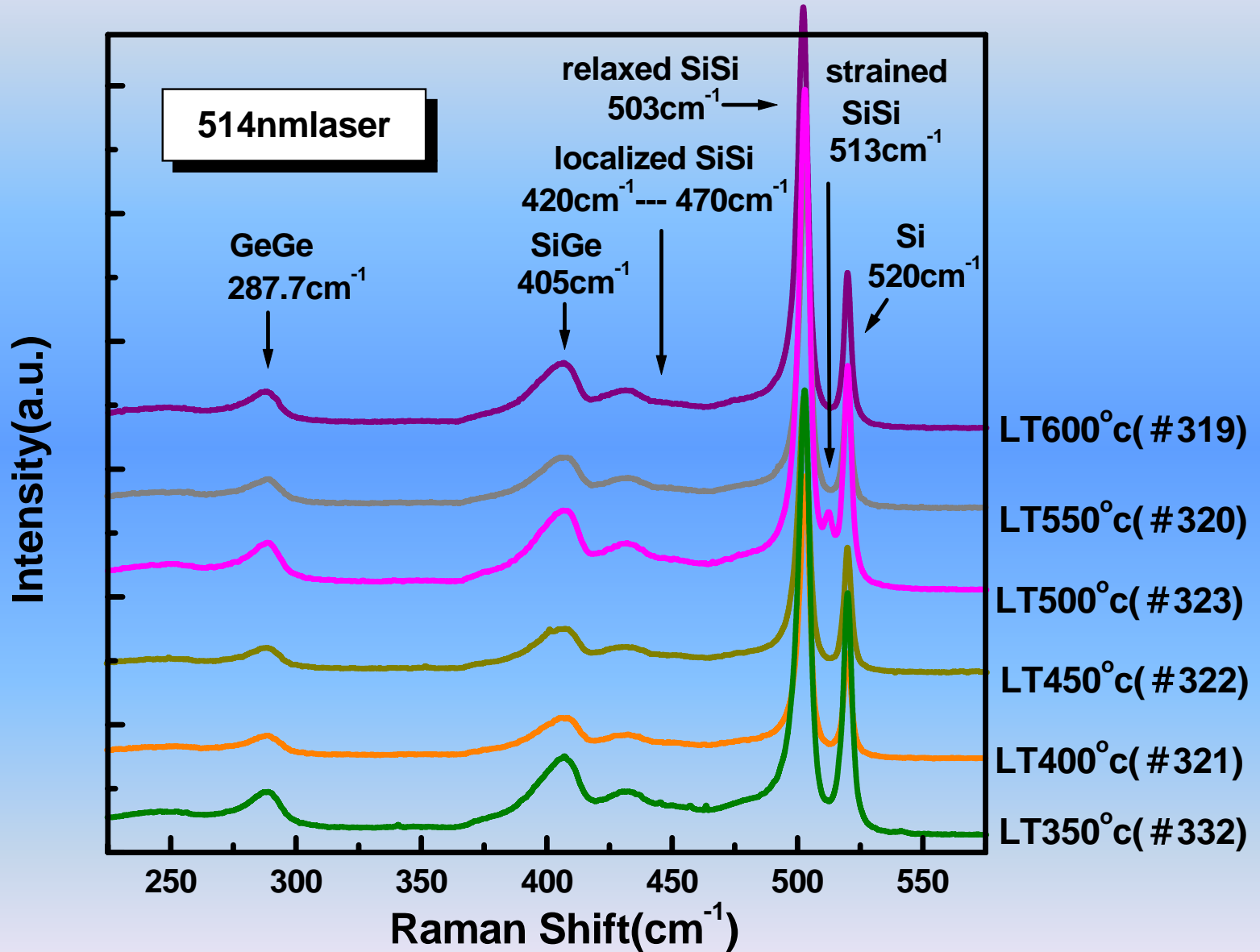


LT-Si 400 °C (# 321)

 : LT-Si層的範圍

•本TEM圖由台大凝態中心
鄭鴻祥老師提供

拉曼散射光譜圖



成份及應力的分析

• 對於 $x < 0.4$ 的 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$:

$$\omega_{\text{SiSi}} = 520.5 - 62x - 815\varepsilon \quad (1)$$

$$\omega_{\text{SiGe}} = 400.5 + 14.2x - 575\varepsilon \quad (2)$$

$$\omega_{\text{GeGe}} = 282.5 + 16x - 385\varepsilon \quad (3)$$

$$\varepsilon = \delta l / l = (\delta l / l)(1/0.0417)$$

(¹J. Groenen, R. Carles, S. Christiansen, M. Albrecht, W. Dorsch, H. P. Strunk, H. Wawra and G. Wagner, Appl. Phys. Lett. **71**, 3856 (1997))

成份及應力的分析

• 利用 $\omega_{SiSi} = 503cm^{-1}$, $\omega_{SiGe} = 405cm^{-1}$ 計算 x 和 (%)

➡ $Si_{1-x}Ge_x$ 中 : $x = 0.29 \pm 0.03$

= -0.04 - 3.1 % 幾乎是fully-relaxed

• 利用 $\omega_{SiSi} = 513cm^{-1}$, $x = 0.29$ 計算 (%)

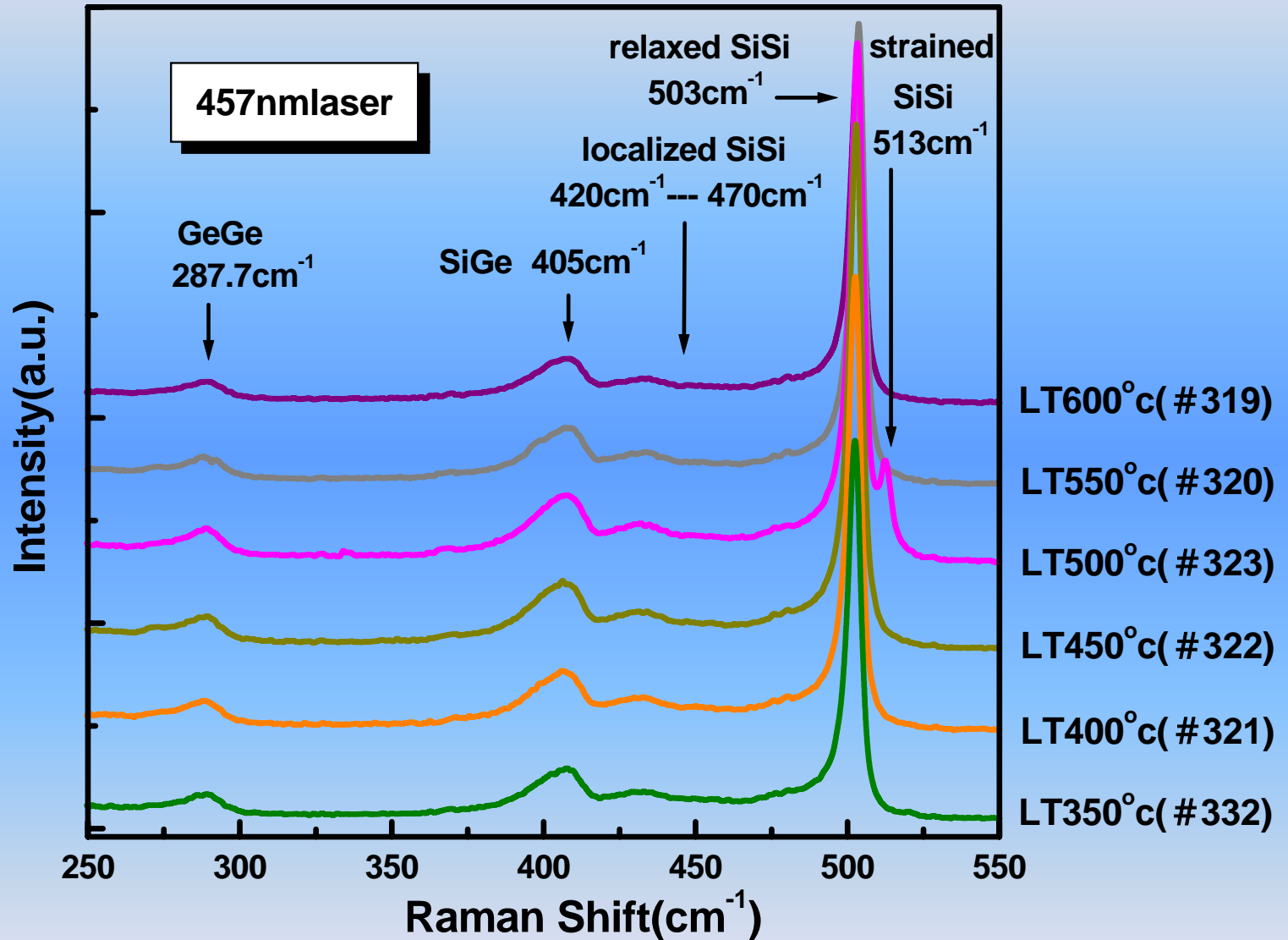
= -30.8% (負代表壓縮)

$$\omega_{SiGe} = 412cm^{-1}$$

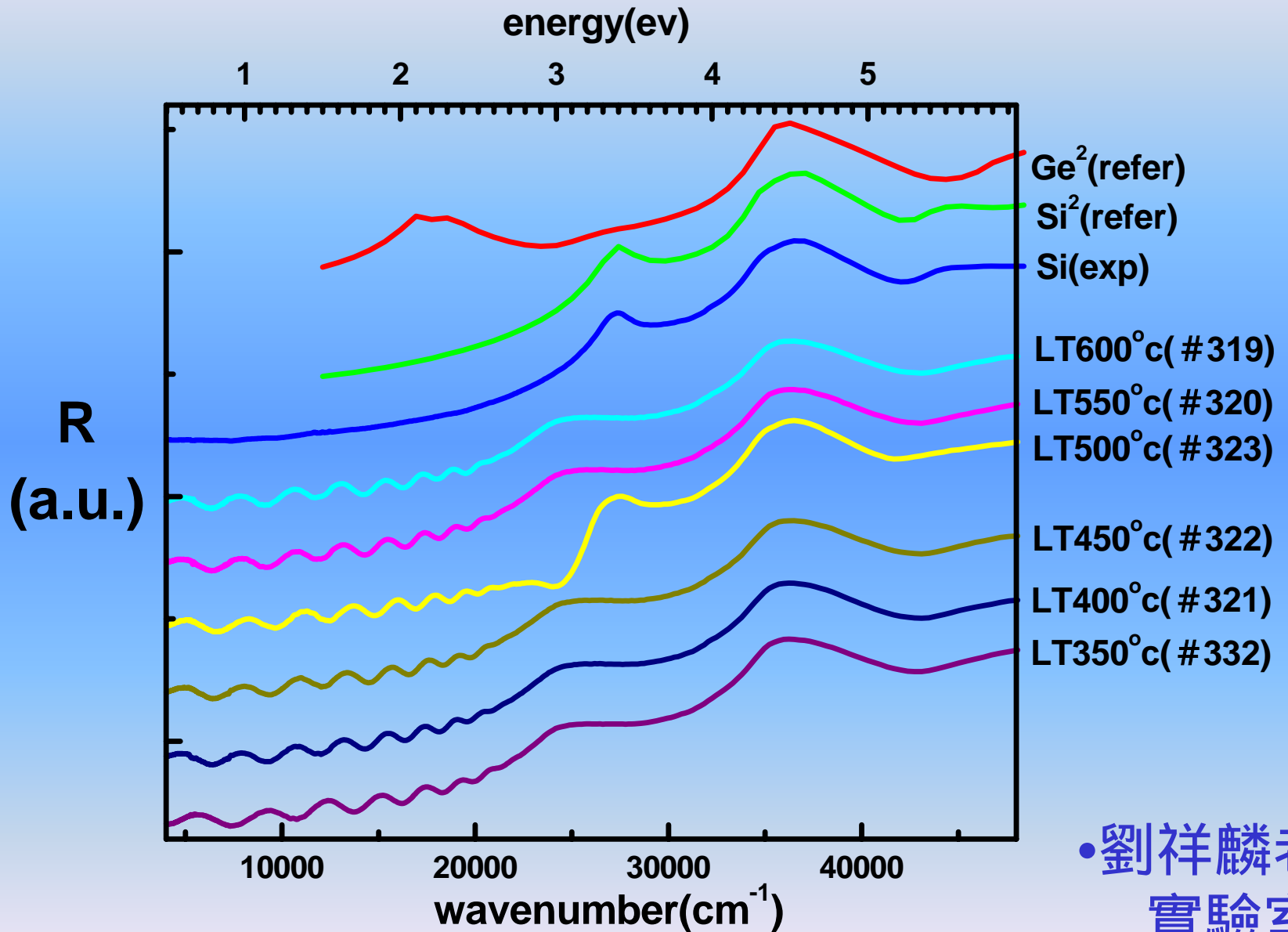
$$\omega_{GeGe} = 292cm^{-1}$$

➡ LT500°C (# 323)的合金層受有局部的應力作用

拉曼散射光譜圖



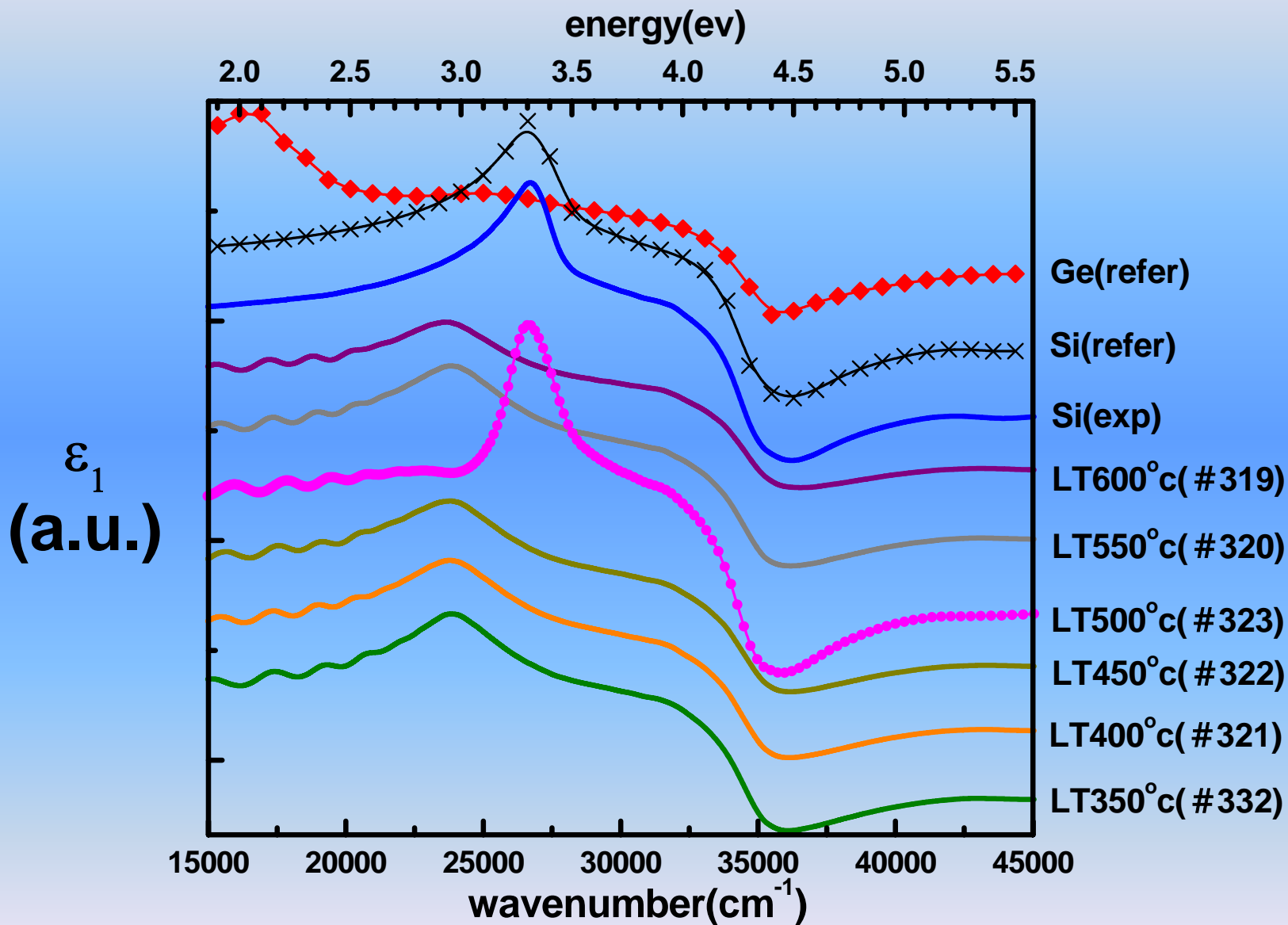
反射光譜圖



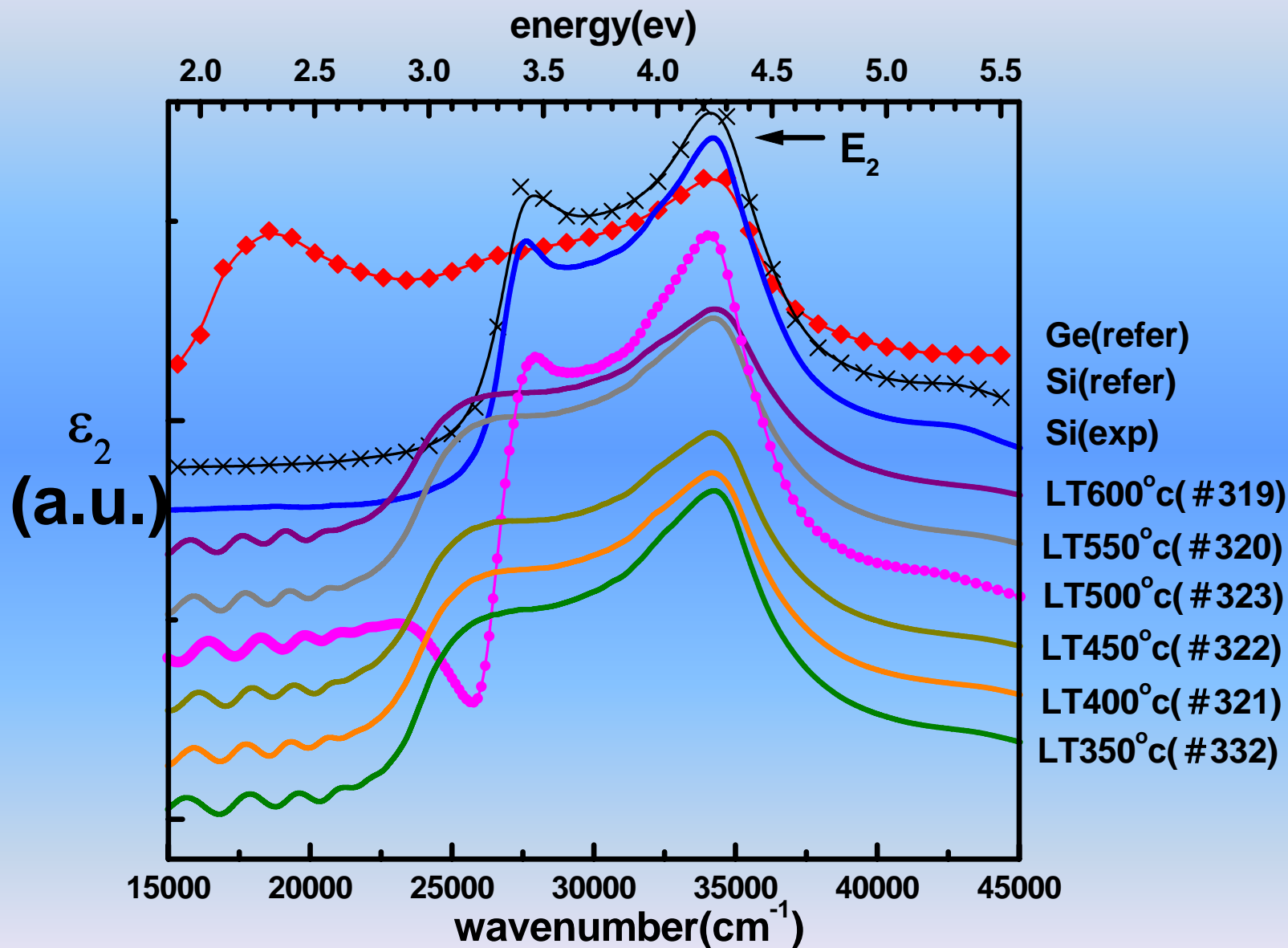
• 劉祥麟老師
實驗室

(D. E. Aspnes and A. A. Studna, Phys. Rev. B **27**, 985 (1982))

介電函數 $\epsilon_1(\omega)$



介電函數 $\epsilon_2(\omega)$



擬合臨界能量(CP)

$$\frac{d^2 \tilde{\epsilon}}{d\omega^2} = \sum_{i=1}^3 n(n-1) A_i e^{i\phi_i} (\hbar\omega - E_i + i\Gamma_i)^{n-2} \quad (4)$$

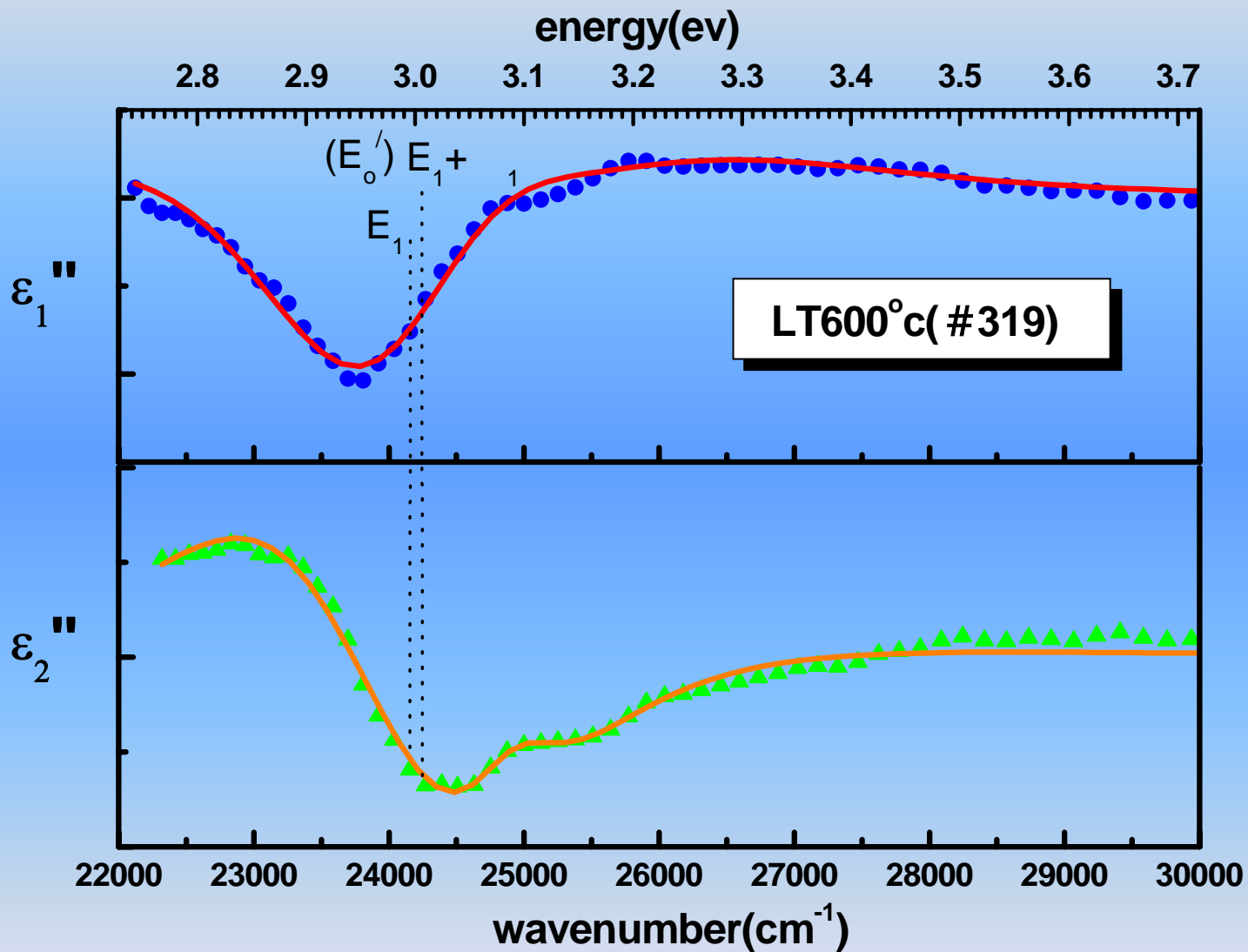
E_i : $E_1, E_1 + \Delta_1, E_0$ Γ_i : broadening parameters

$\hbar\omega$: the photon energy ϕ_i : the phase angles

A_i : amplitudes n : best fits with $n = -1$

(³ C. Pickering, R. T. Carline, D. J. Robbins, W. Y. Leong, S. J. Barnett, A. D. Pitt and A. G. Cullis, J. Appl. Phys. **73**, 239 (1993))

利用 $d^2\varepsilon/d\omega^2$ 求CP

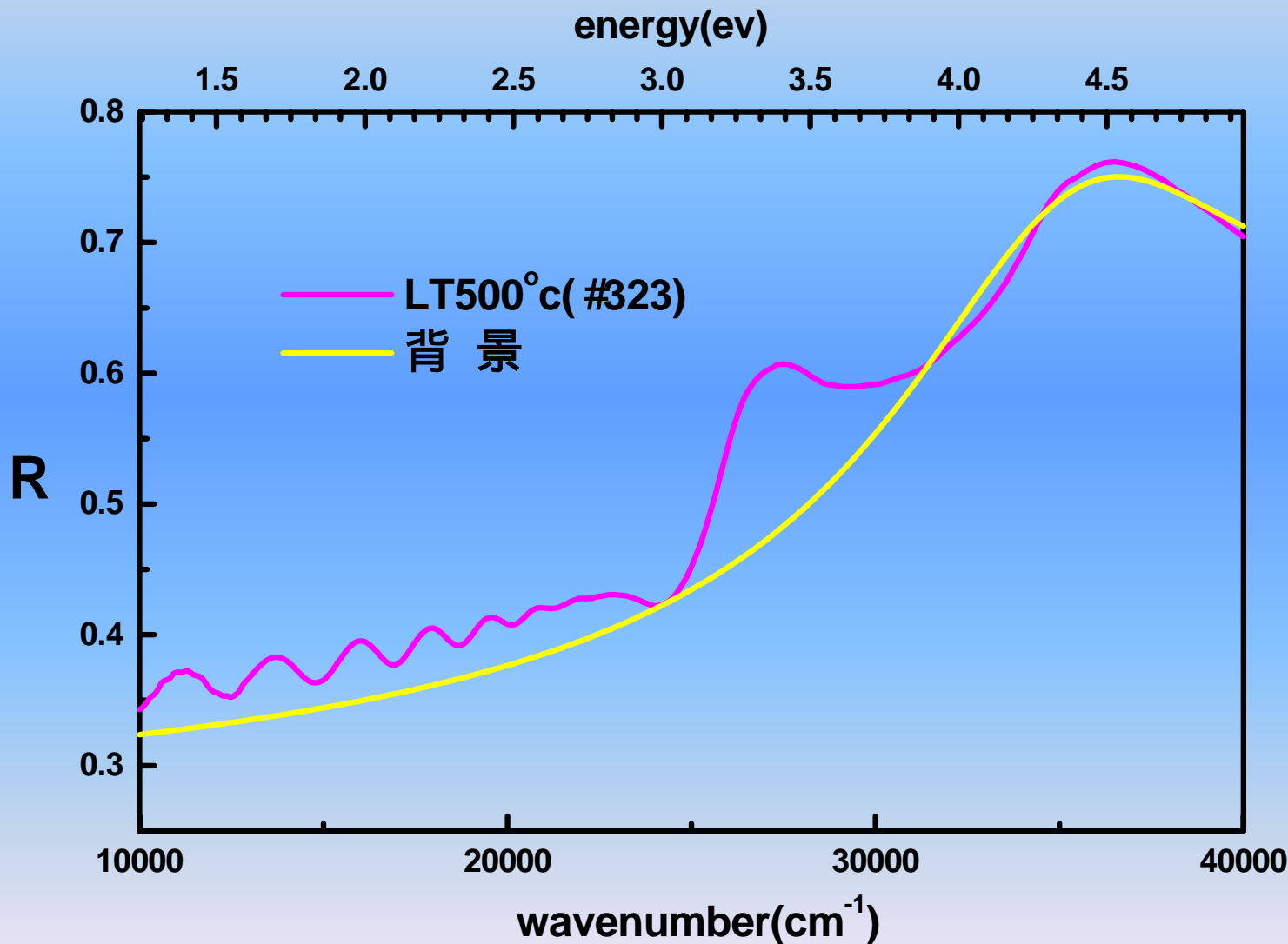


利用 $d^2\varepsilon/d\omega^2$ 求CP

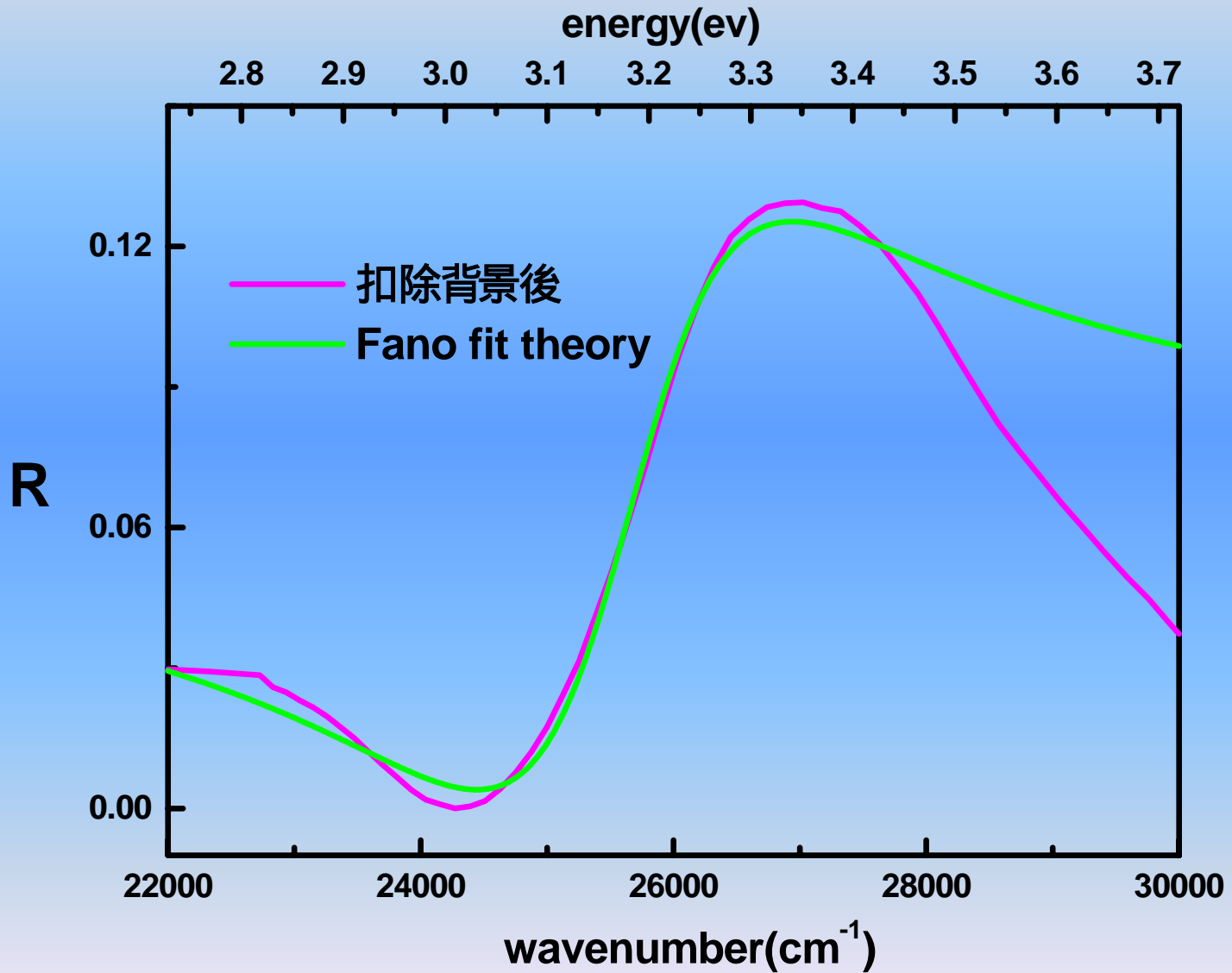
	# 319 LT600	# 320 LT550	# 322 LT450	# 321 LT400	# 332 LT350
$E_1(\text{ev})$	2.99 ± 0.05	2.94 ± 0.01	3.02 ± 0.03	2.99 ± 0.01	2.96 ± 0.01
$E_1 + \Delta E_1(\text{ev})$	3.08 ± 0.07	3.03 ± 0.09	3.10 ± 0.04	3.09 ± 0.02	3.09 ± 0.05
$\Delta E_1(\text{ev})$	0.09	0.09	0.08	0.10	0.13

→ ΔE_1 會因應力變大，本實驗 $\Delta E_1 < 0.15\text{ev}$ 表不受應力作用

323樣品Fano效應



323樣品Fano效應



323樣品Fano效應

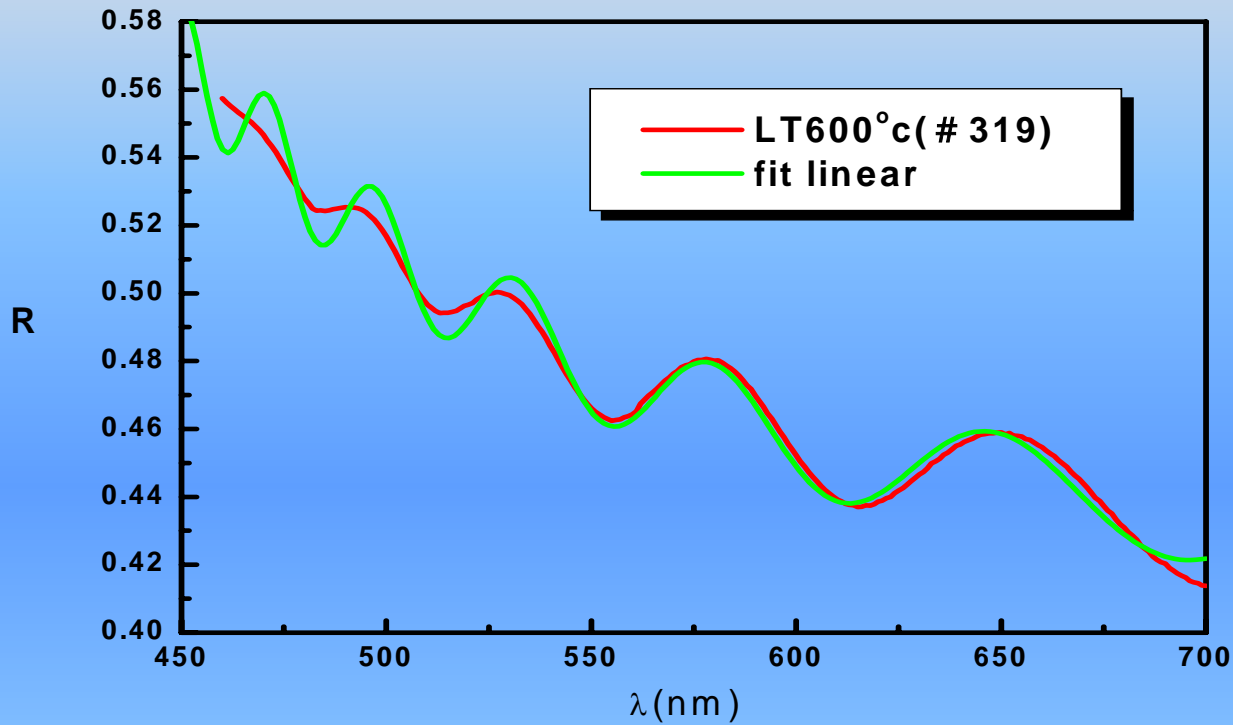
$$I \propto \frac{(q + \varepsilon)^2}{1 + \varepsilon^2} \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{E - E_R}{\frac{1}{2}\Gamma}$$

參數： $q = 0.96$ 半高寬： $= 0.31\text{ev}$

共振能量： $E_R = 3.18\text{ev}$

擬合矽鍍合金厚度



$$R(\lambda) = y_o + 0.015 \times \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda/n(\lambda)} \times 2d \right] + B \times e^{-(\lambda-C)/A} \quad (6)$$

d : 合金厚度 $n(\lambda)$: 矽鍍折射率 y_o 、 A 、 B 、 C : 參數

擬合矽鍍合金厚度

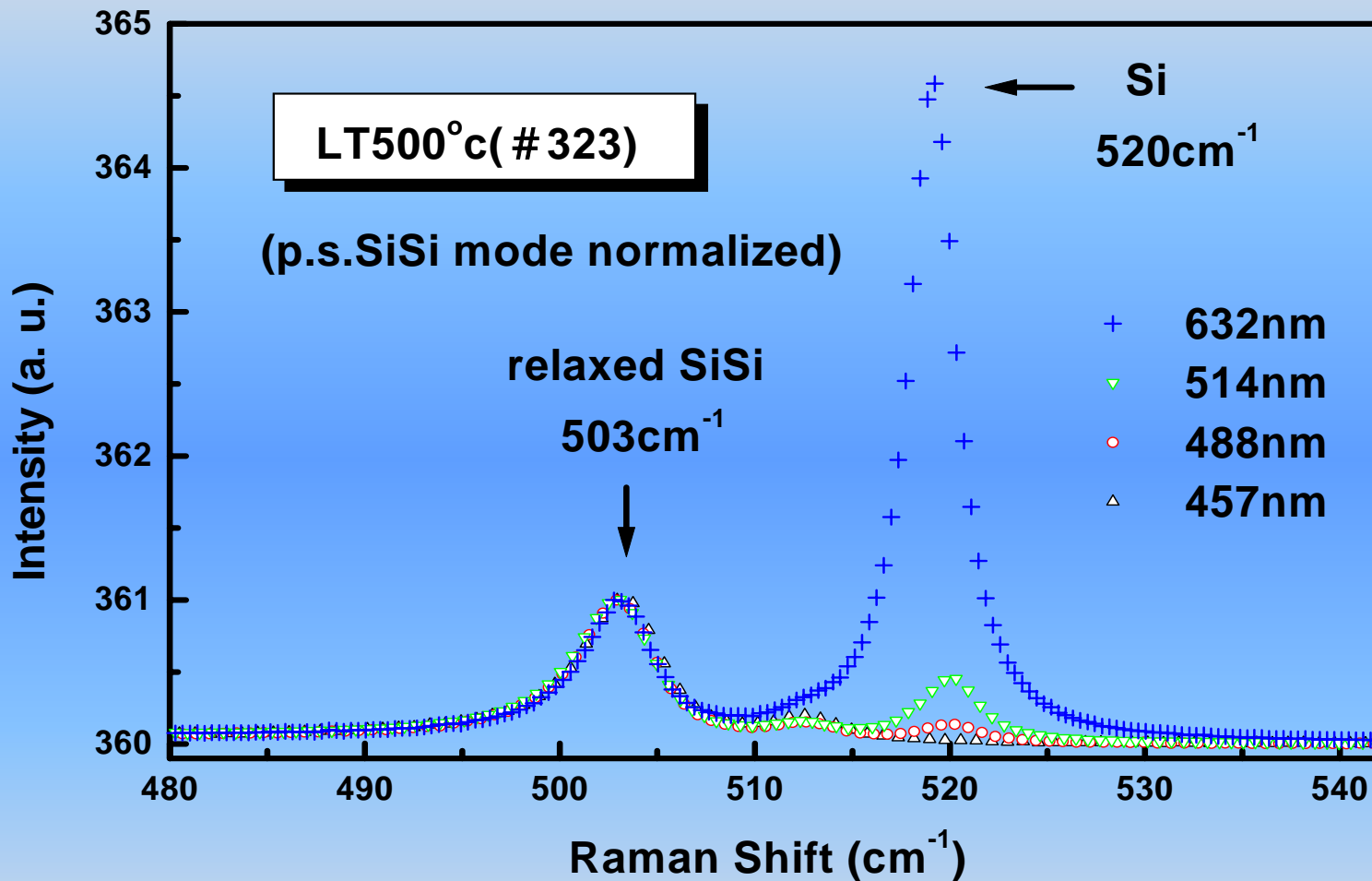
# 319	# 320	# 323	# 322	# 321	# 332
LT600	LT550	LT500	LT450	LT400	LT350

合金
厚度
(nm)

480.4	477.7	457.1	471.5	476.6	407.4
±0.4	±0.4	±0.4	±0.4	±0.4	±0.4

➡ # 332較薄

利用拉曼散射光譜圖求吸收係數

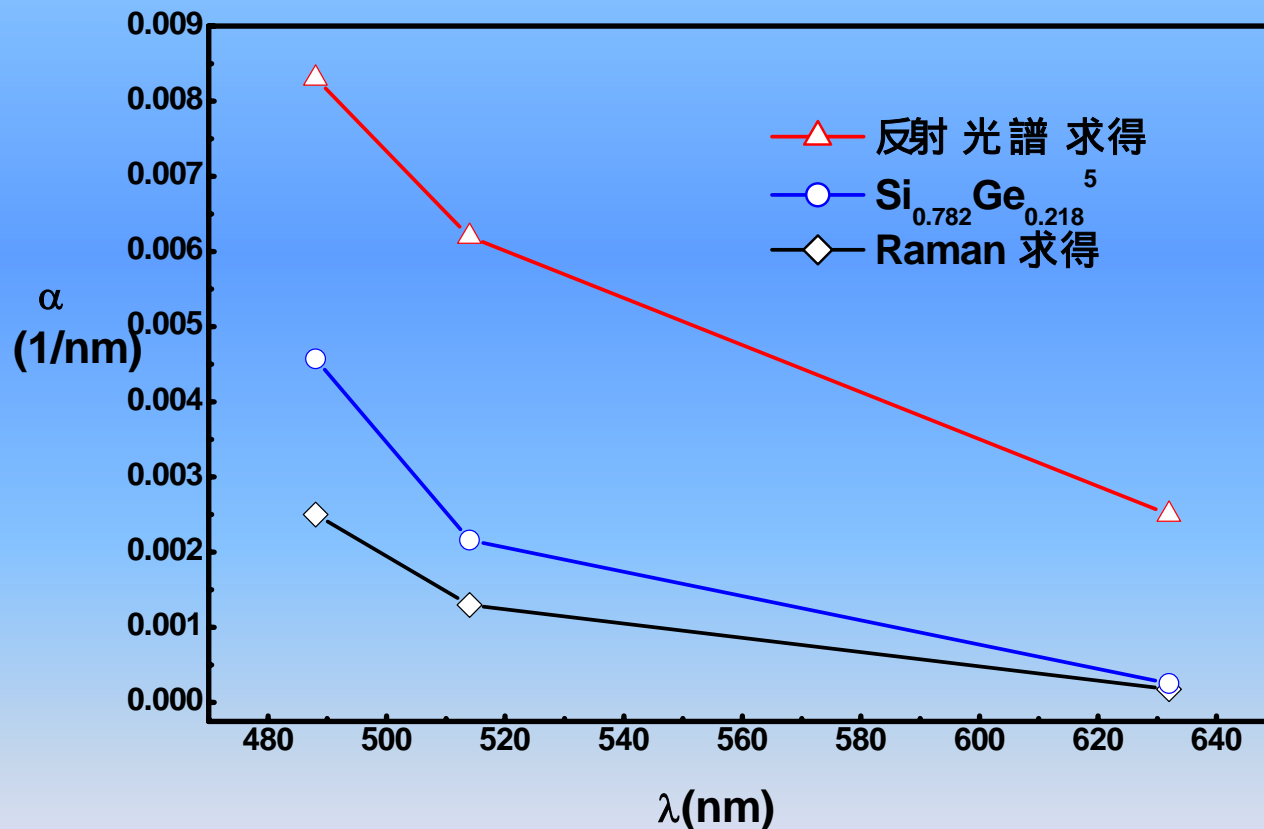


➡ 穿透深度：632nm > 514nm > 488nm > 457nm

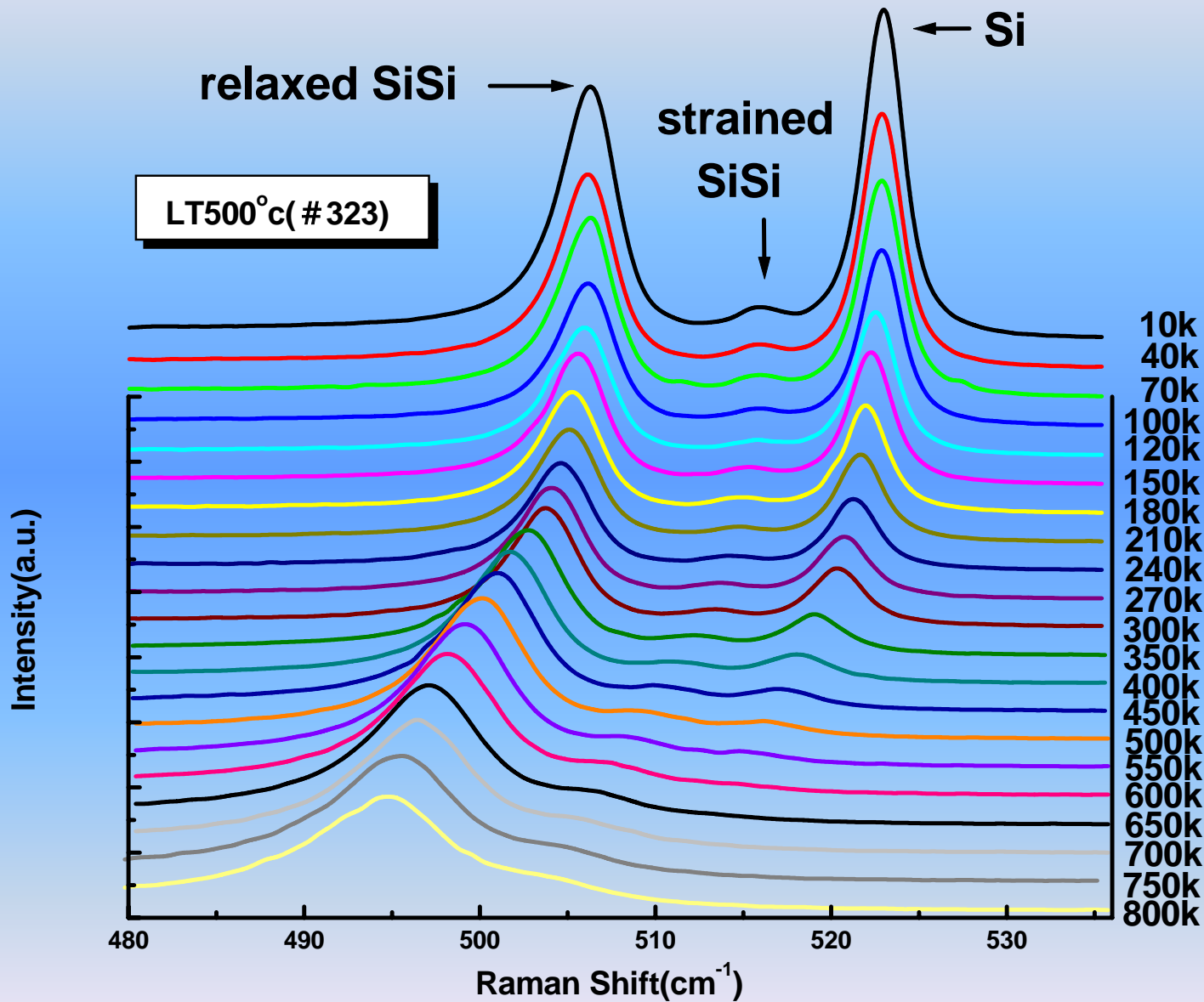
• 假設不同入射波長對SiSi振動模的散射截面相同

$$I_{SiSi} \propto 1 - e^{-2\alpha_{SiGe}d} \quad (7) \quad d : \text{合金層厚度}$$

$$I_{Si} \propto e^{-2\alpha_{SiGe}d} \quad (8) \quad \alpha_{SiGe} : \text{合金層吸收係數}$$



改變溫度的拉曼散射實驗



• 聲子振動模位置($\omega(T)$)和絕對溫度(T)的關係：

$$\omega(T) = \omega_o + \Delta^{(1)}(T) + \Delta^{(2)}(T) \quad (9)$$

$$\Delta^{(1)}(T) = \omega_o \left[\exp \left[-3\gamma \int_0^T \alpha(T') dT' \right] - 1 \right]$$

$$\Delta^{(2)}(T) = A \left[1 + \frac{1}{(e^{x_1} - 1)} + \frac{1}{(e^{x_2} - 1)} \right] + B \left[1 + \frac{3}{(e^y - 1)} + \frac{3}{(e^y - 1)^2} \right]$$

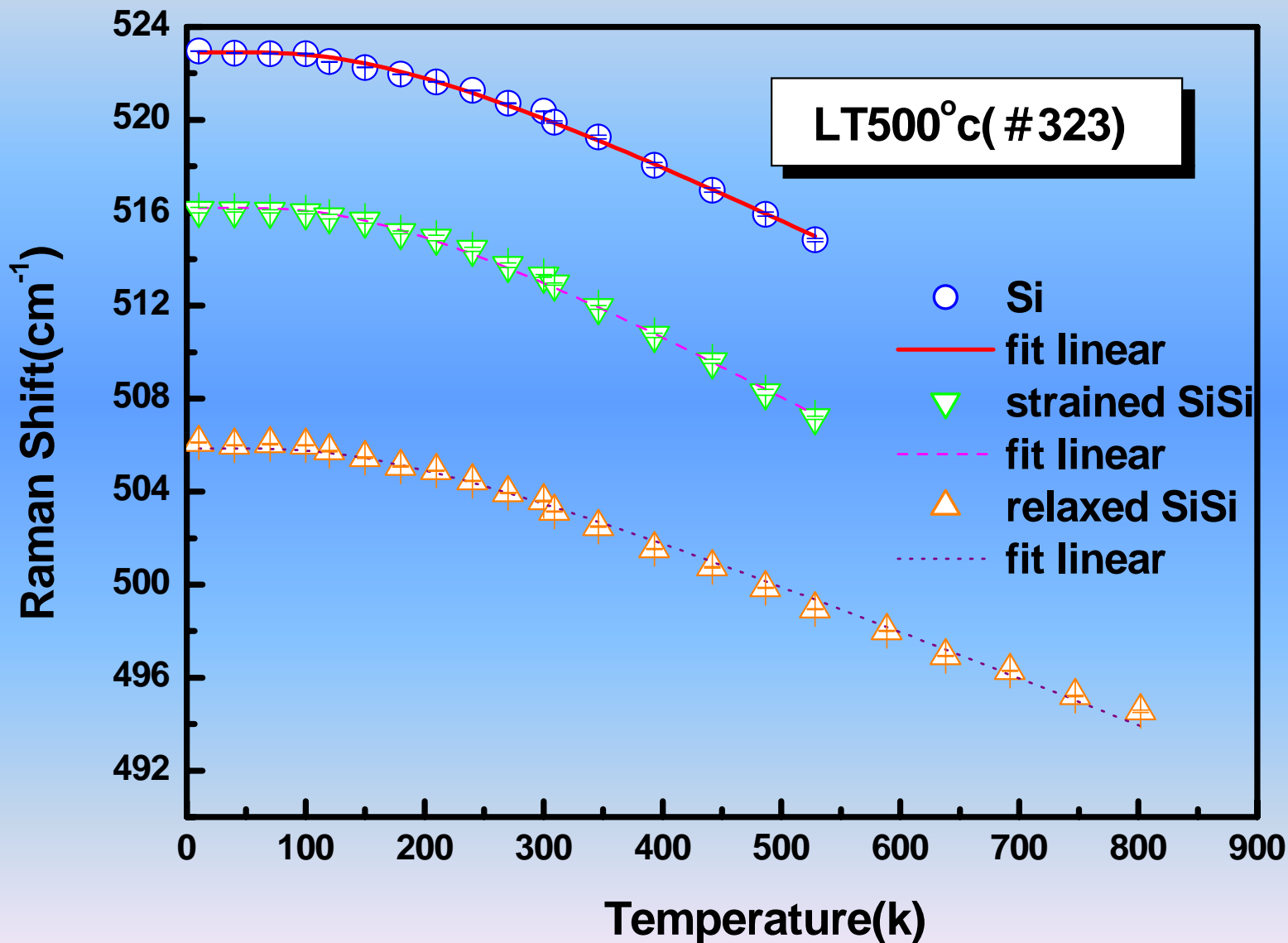
(⁶Hubert H. Burke and Irving P. Herman, Phys. Rev. B **48**, 15016 (1993-))

γ : Grüneisen 參數 $x_1 = 0.35\hbar\omega_o/k_B T$

$\alpha(T)$: 熱膨脹係數 $x_2 = 0.65\hbar\omega_o/k_B T$

A 、 B : 參數(B 可忽略) $y = \hbar\omega_o/3k_B T$

聲子拉曼位移對溫度的關係



- 利用 $\omega(T) = \omega_o + \Delta^{(1)}(T) + \Delta^{(2)}(T)$ 的擬合結果：

	A	$\omega(T = 0K)$
Si mode	-7.5 ± 0.5	523.3 ± 0.5
strained SiSi mode	-8.0 ± 0.5	516.2 ± 0.7
relaxed SiSi mode	-6.0 ± 0.4	506.0 ± 0.5

- 取300k 800k作聲子位置對溫度的線性擬合：

	$d\omega/dT$ (cm^{-1}/K)
Si mode	-0.024 ± 0.002
Si mode(c-Si ⁷)	-0.0247
Si mode(c-Si ⁸)	-0.025
strained SiSi mode	-0.026 ± 0.004
relaxed SiSi mode	$-0.0186 \pm 4E-4$

⁽⁷⁾Hubert H. Burke and Irving P. Herman, Phys. Rev. B **48**, 15016 (1993-)

⁽⁸⁾J. Olivare, P. Martin, A. Rodriguez, J. Sangrador, J. Jimenez, T. Rodriguez, Thin Solid Films **358**, 56(2000)

結論

- 用拉曼測量分析 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ 成份，並知LT500 上層的合金有不均勻的應力
- 從反射光譜擬合 E_1 和 $E_1 + \dots$ 得知合金無應力作用，除 # 323有Fano效應
- 得知樣品厚度和 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$ 吸收係數
- 得知溫度對聲子的效應

	457nm		488nm		514nm	
sample	x	(%)	x	(%)	x	(%)
# 319 (LT600°C)	0.29	-2.1	0.29	-1.9	0.29	-0.04
# 320 (LT550°C)	0.29	-2.3	0.29	-2.1	0.29	-0.7
# 323 (LT500°C)	0.29	-1.6	0.29	-1.4	0.29	-1.6
# 322 (LT450°C)	0.29	-0.7	0.29	-1.4	0.29	-3.1
# 321 (LT400°C)	0.29	-2.3	0.29	-1.6	0.29	-2.1
# 332 (LT350°C)	0.29	-1.6	0.29	-1.4	0.29	-2.6