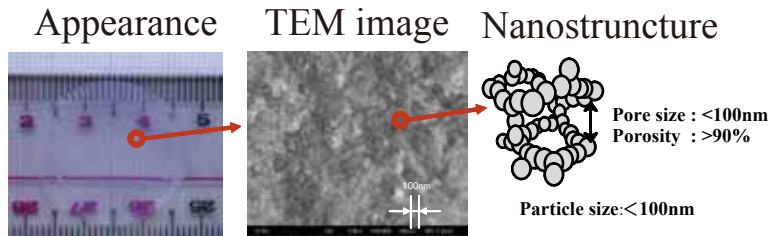


シリコンナノフォームの音響・光学特性の検討とその応用

背景・目的

シリコンナノフォームとは・・・

- ・ 1～数百nmの空孔 (>90%) とシリカ骨格を持つ多孔質材料であり低密度
- ・ 従来の応用：断熱材、電子回路
- ・ 音響・光学特性についてわかっていない
- ・ 低音速、低音響インピーダンス → 空中超音波センサの音響整合層へ応用
- ・ 光学的に透明 → 音響光学素子へ応用

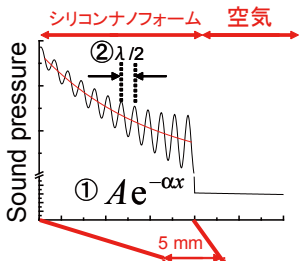


音響特性の検討

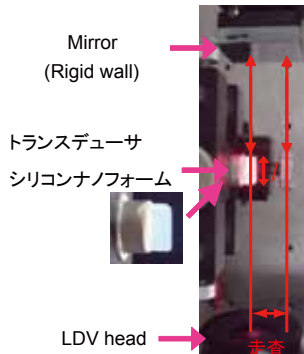
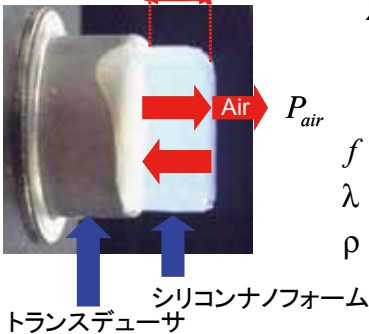
減衰定数, 音速, 音響インピーダンス,  
音圧に対する屈折率変化の測定方法

シリコンナノフォーム中の  
定在波分布より測定

定在波分布の測定方法  
超音波による光路長変化を  
干渉計(LDV)を用いて測定



- ① 減衰定数  $\alpha$
- ② 波長 → 音速  
音速  $c = f\lambda$
- ③ 音響インピーダンス  
 $Z = \rho c$   
↑  
(別途測定)  
 $f$ : 周波数  
 $\lambda$ : 波長  
 $\rho$ : 密度  $2.5 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$



シリコンナノフォーム内の屈折率変化

$$\Delta n = \frac{n}{l} \Delta l = \frac{n}{2\pi f l} v_{LDV}$$

空気中の音圧の絶対値

$$P_{air} [\text{Pa}] = 7.99 \times 10^4 \times \frac{v_{LDV} [\text{mm/s}]}{f [\text{kHz}] \times l [\text{mm}]}$$

音圧に対する屈折率変化  $\frac{\Delta n}{P_{Si}} [1/\text{Pa}]$

シリコンナノフォーム/空気中の音圧の関係

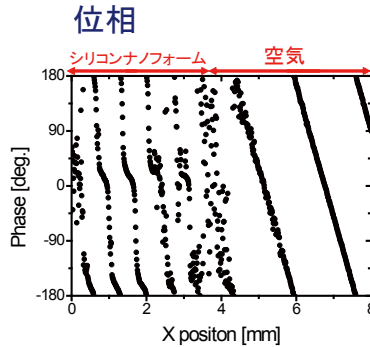
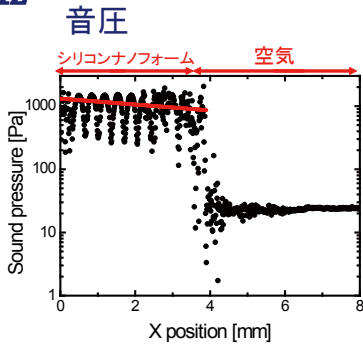
$$P_{Si} = \frac{1}{T} P_{air} = \frac{Z_{Si} + Z}{2Z_{air}} P_{air}$$

$T$ : 透過係数  
 $Z_{air}$ : 空気の音響インピーダンス  
 $Z_{Si}$ : シリコンナノフォームの音響インピーダンス

$n$ : シリコンナノフォームの屈折率 1.08 @ 632.8 nm  
 $\Delta n$ : シリコンナノフォームの屈折率変化  
 $l$ : 音場と光が相互作用する長さ  
 $\Delta l$ : 仮想的なミラーの変位  
 $v_{LDV}$ : LDV 出力 (m/s)  
 $f$ : 超音波の周波数

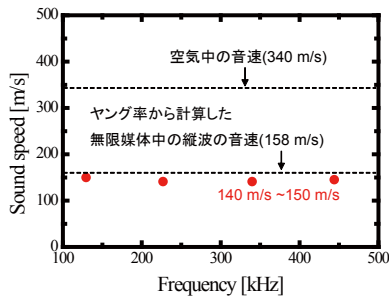
# 測定結果

212kHz

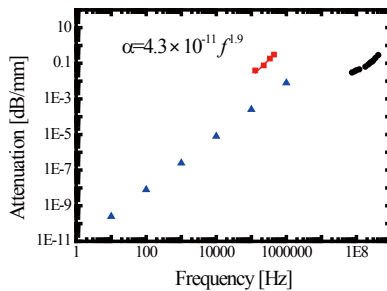


減衰定数 0.93 dB/mm  
 音速 146 m/s  
 音圧に対する屈折率変化  
 $1.39 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$   
 音響インピーダンス  
 $3.7 \times 10^4 \text{ kg/m}^2/\text{s}$

音速



減衰定数



音圧に対する屈折率変化

シリコンナノフォーム	$1.2\sim 1.6 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
空気	$0.015 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
水	$0.2 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$

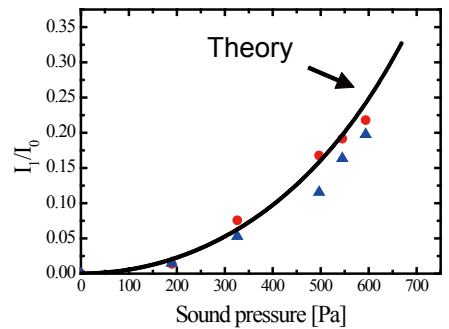
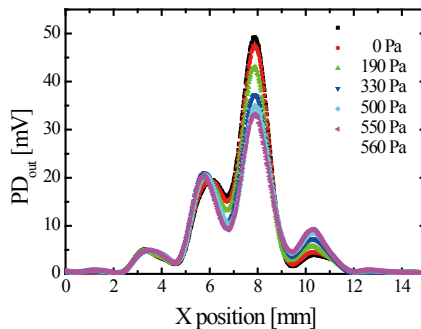
# 超音波による光の回折(ラマン-ナス回折)



超音波なし



超音波あり



回折強度

$$I_m = J_m^2(V)$$

$$V = \frac{2\pi \Delta n l}{\lambda}$$

$J_m$  : m次のベッセル関数

$\Delta n$  : 音圧による屈折率変化の振幅

$l$  : 光と音波が相互作用する長さ 10 mm

$\lambda$  : 光の波長 633 nm

# まとめ

音響特性(100~500 kHz)

減衰定数	$4.3 \times 10^{-11} f^{1.9} \text{ [dB/(mm}\cdot\text{Hz}^{1.9})]$
音速	140~150 m/s
音響インピーダンス	$3.5\sim 3.8(10^4 \text{ kg/m}^2/\text{s})$

光学特性

屈折率	1.08@633 nm
減衰定数	0.48 dB/mm@633 nm

音響光学特性

音圧に対する屈折率変化	$1.2\sim 1.6 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
-------------	--