

MEMS技術を用いた赤外線・テラヘルツ単一材料光学干渉フィルターの研究

○山本 啓太(ISAS/JAXA、総合研究大学院大学)、和田 武彦、三田信(ISAS/JAXA)

研究背景

中間赤外線観測による天文学

- 波長 $30\mu\text{m}$ (10THz)帯は光赤外線天文学における最後の未開の波長帯。星・惑星系形成過程から銀河形成に至る幅広い研究領域で期待されている。
- SPICA(人工衛星搭載), TAO(高地 5600m), 南極望遠鏡(寒冷極地 190K/4000m)による高感度の中間赤外線観測が計画されている。

赤外線天文観測における、冷却サイクルに強い高性能光学フィルターの必要性

- 赤外線天文観測では、高感度を得るためには**光学系全体の冷却が必要**となる。そのため、冷却サイクルに強い**高性能光学フィルター**が必要とされている。

(高性能光学フィルターの代表として、急峻なエッジが実現出来る多層干渉フィルターが挙げられる。)

従来の多層干渉フィルターの**問題点**

- 干渉フィルターには、屈折率の異なる層が必要となるため、従来では複数の光学材料が用いられてきた。

⇒複数の光学材料を用いる場合では、熱膨張係数の違いによる**冷却サイクルでの剥離の懸念**がある。

※特に中間赤外線帯($30\sim 50\mu\text{m}$)では、シリコンなど少数の例外を除くと、そもそも物理化学的に安定で優れた透過特性を持つ**光学材料がない**。

単一素材多層干渉フィルター

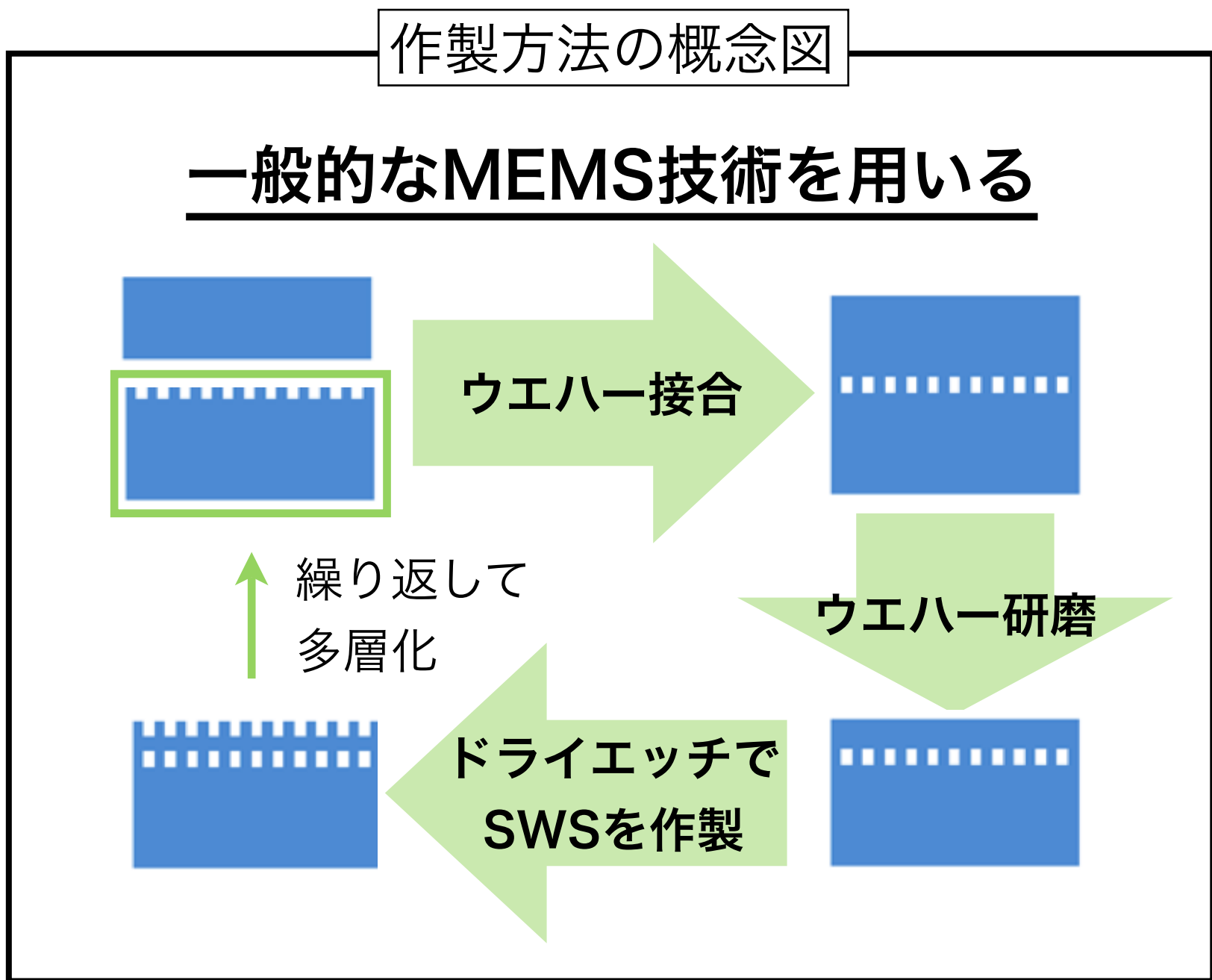
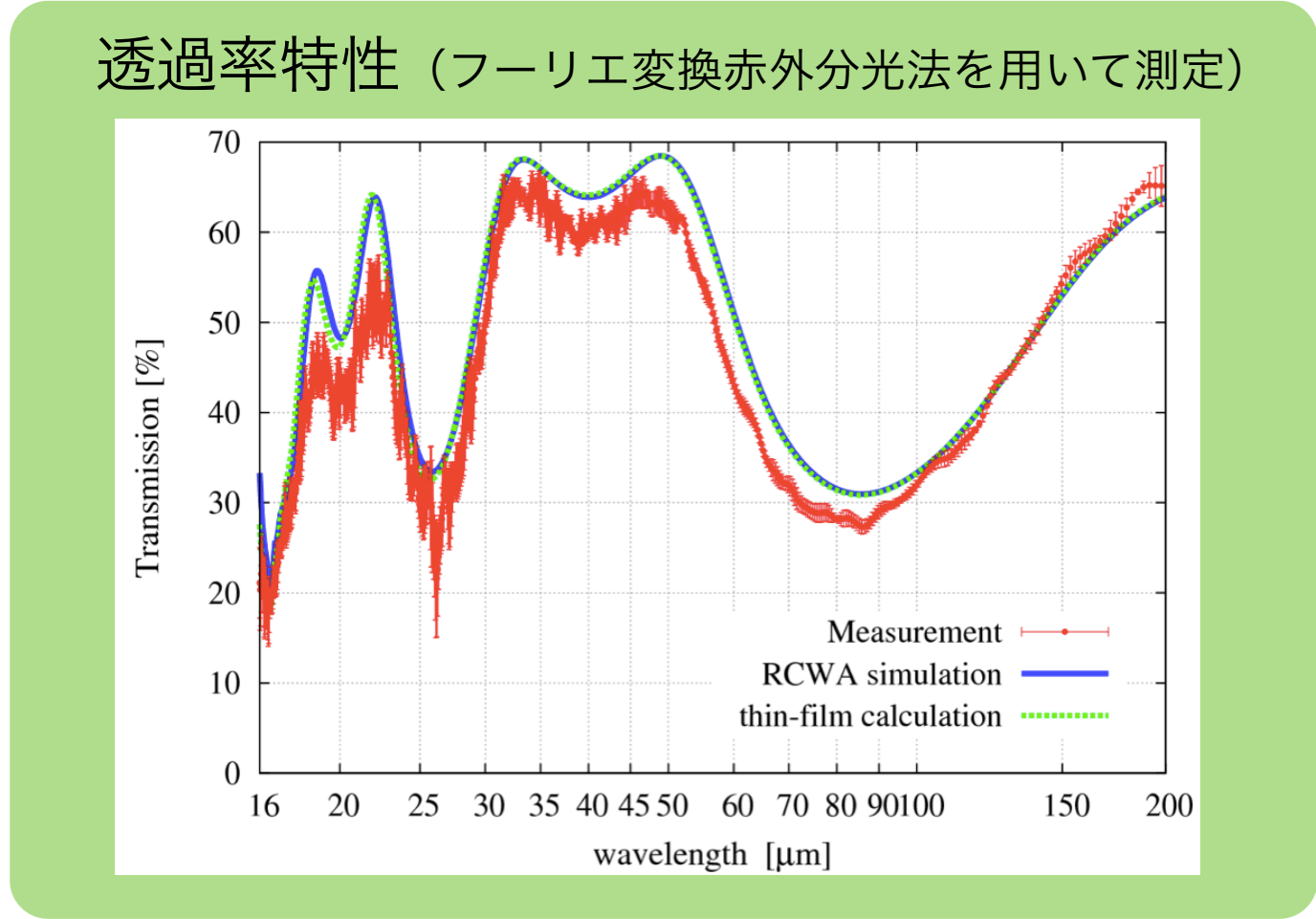
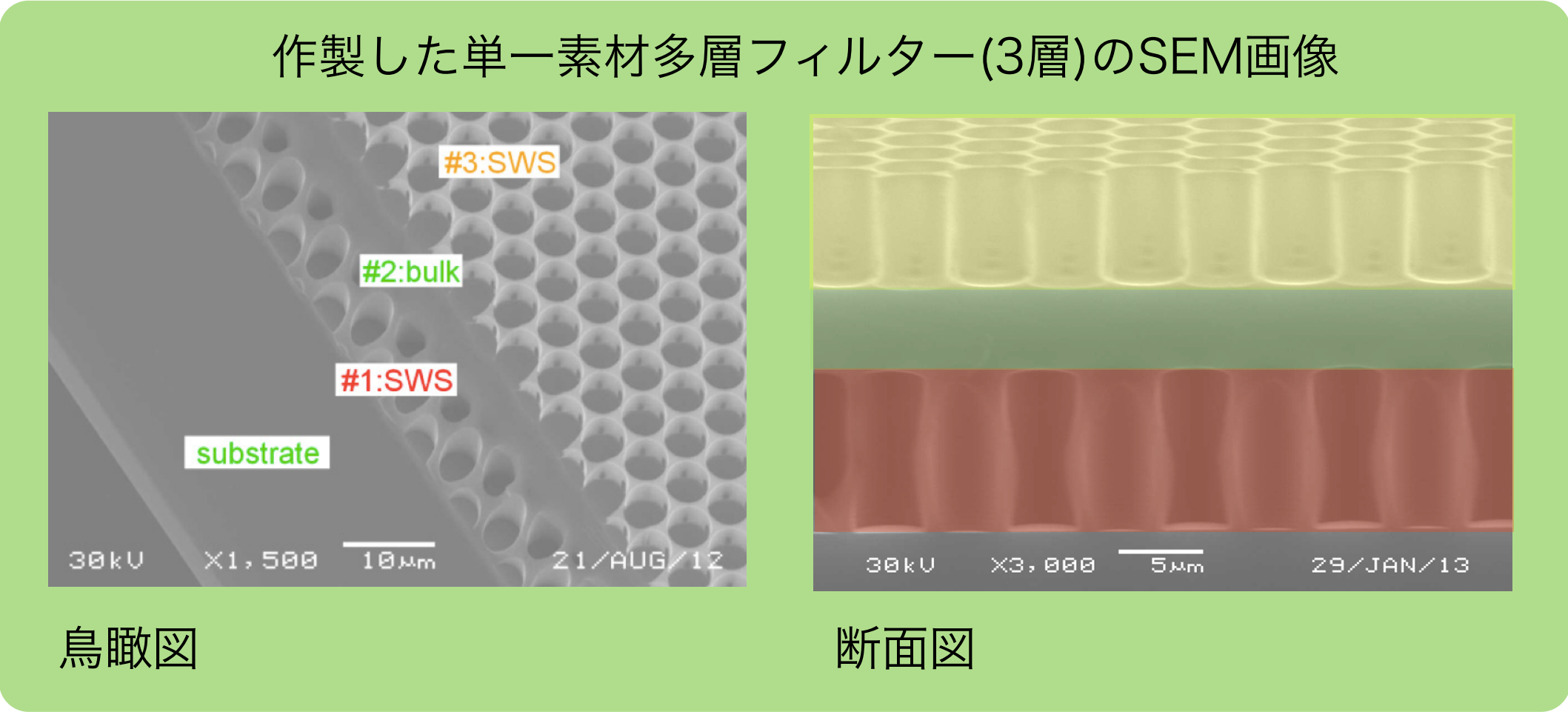
問題解決のコンセプト

- 冷却サイクルでの剥離の問題を解決するため、**単一材料のみで用いた多層干渉フィルター**を作製する。
また、光学材料不足である中間赤外線帯での多層干渉フィルターを実現するため、光学材料にはシリコンを使用した。
- 干渉フィルターの実現に必要となる**屈折率の制御はサブ波長構造(SWS)を利用する**ことで可能とした。

SWSの実効的な屈折率は、その空隙率によって決まる

これまでの研究で得られた成果

- 構造の大きさ**、**構造周期**がともに着目波長より十分に小さいSWSを用いて、単一材料多層干渉フィルターを開発した。



※RCWA法では、透過率計算に周期構造の影響を取り込むことが出来る。

多層フィルターの各種パラメータ

Layer	Quarter-wave optical thickness	Physical thickness [μm]	(Effective) refractive index	Porosity [%]
#3:SWS	0.5	6.8	1.4	80
#2:bulk	1.0	6.0	3.42	-
#1:SWS	1.0	9.8	1.9	62

**SWSにより屈折率をコントロール($n > 1.4$)し、
設計通りの透過率特性を持つ単一素材多層干渉フィルターの開発に成功した。
300K(室温) $\leftrightarrow$ 77K(液体窒素)の冷却サイクルに耐えられることを実証した。**

さらに高性能化を目指す⇒高屈折率コントラストの実現

本研究の次なる目標

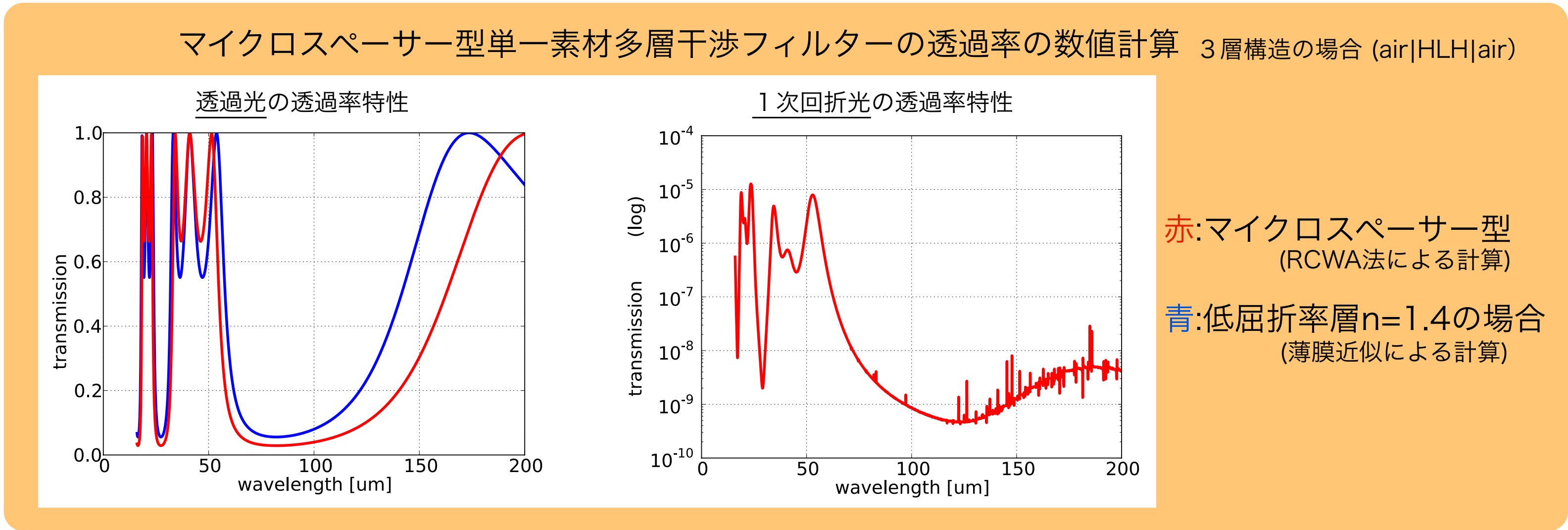
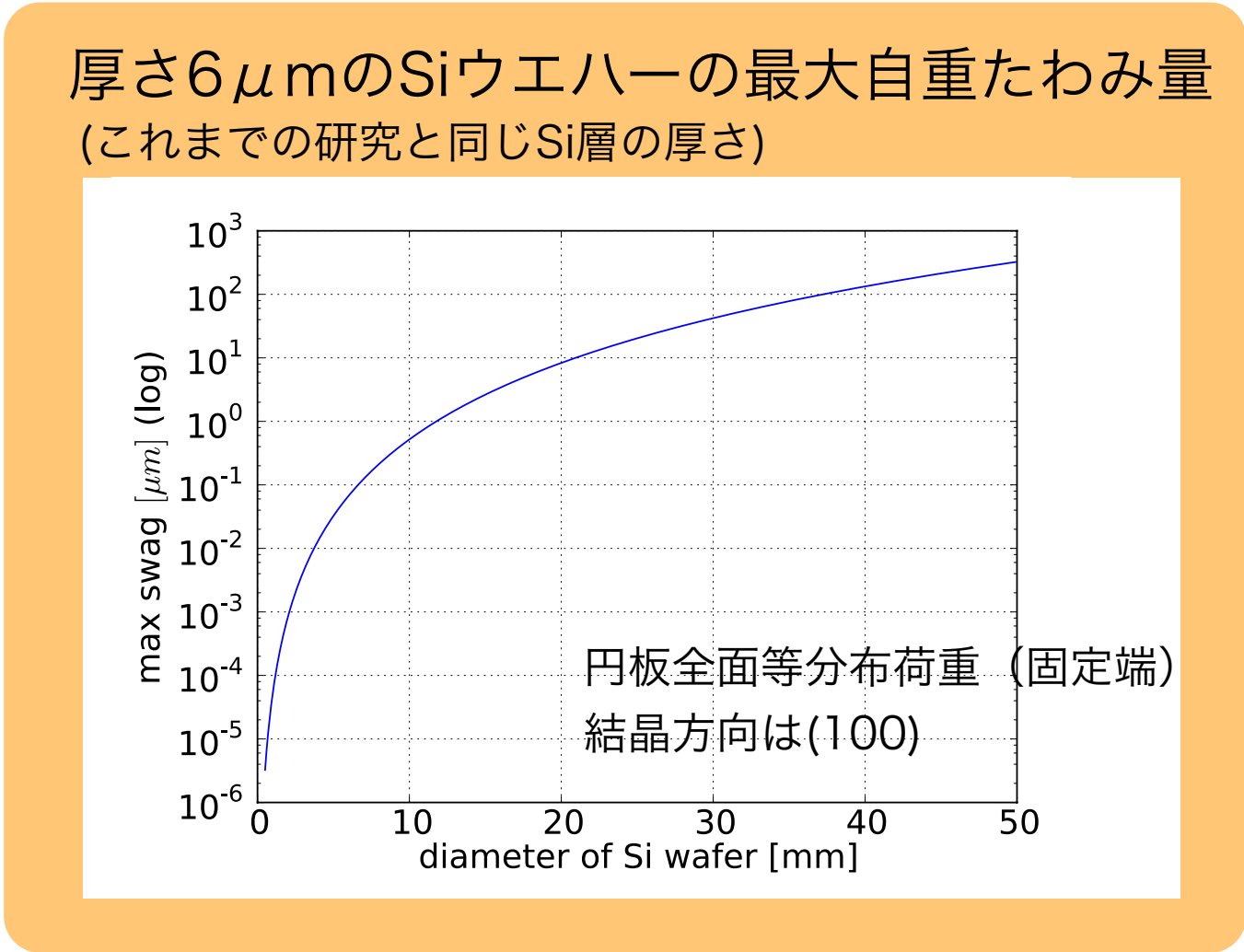
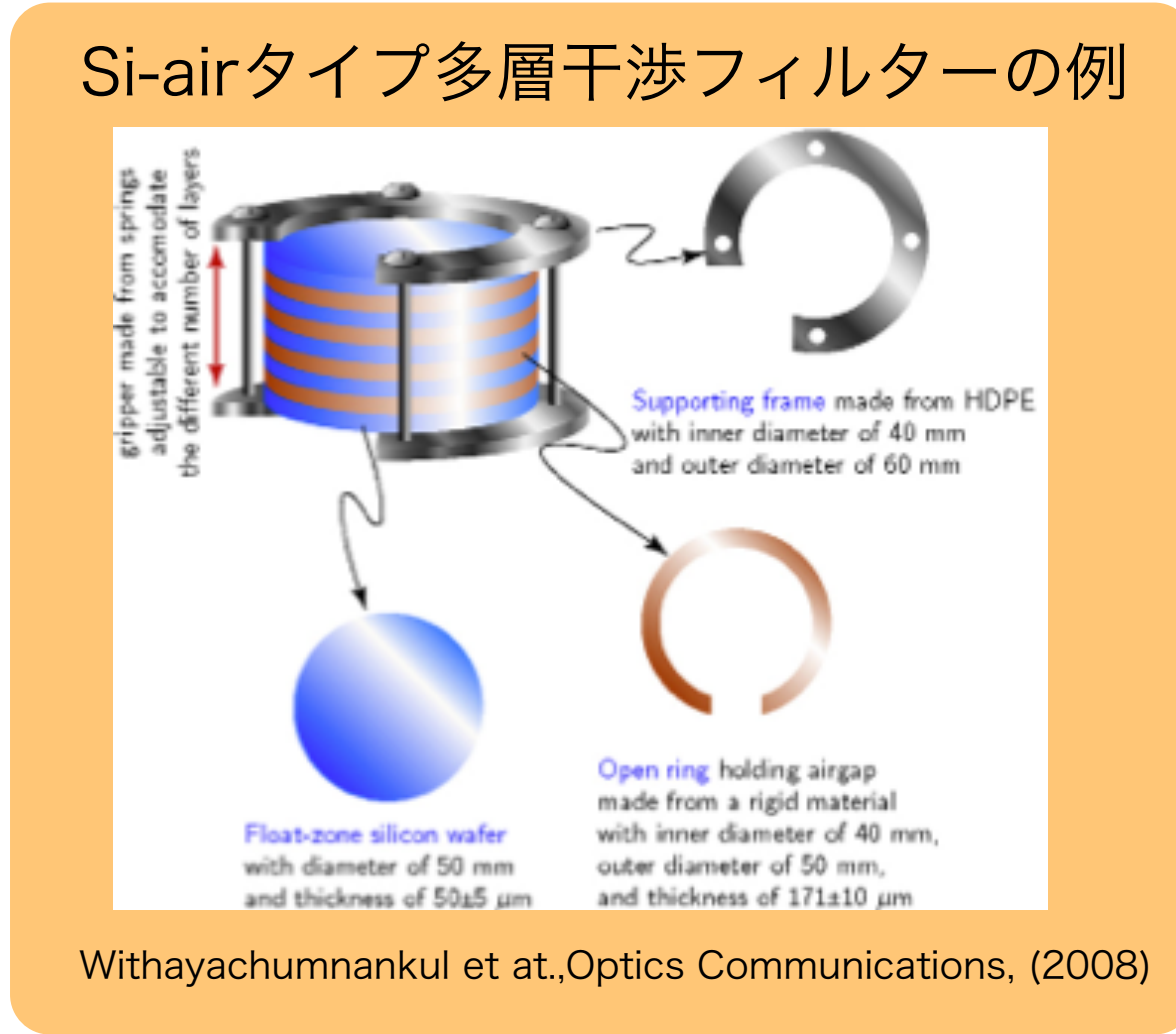
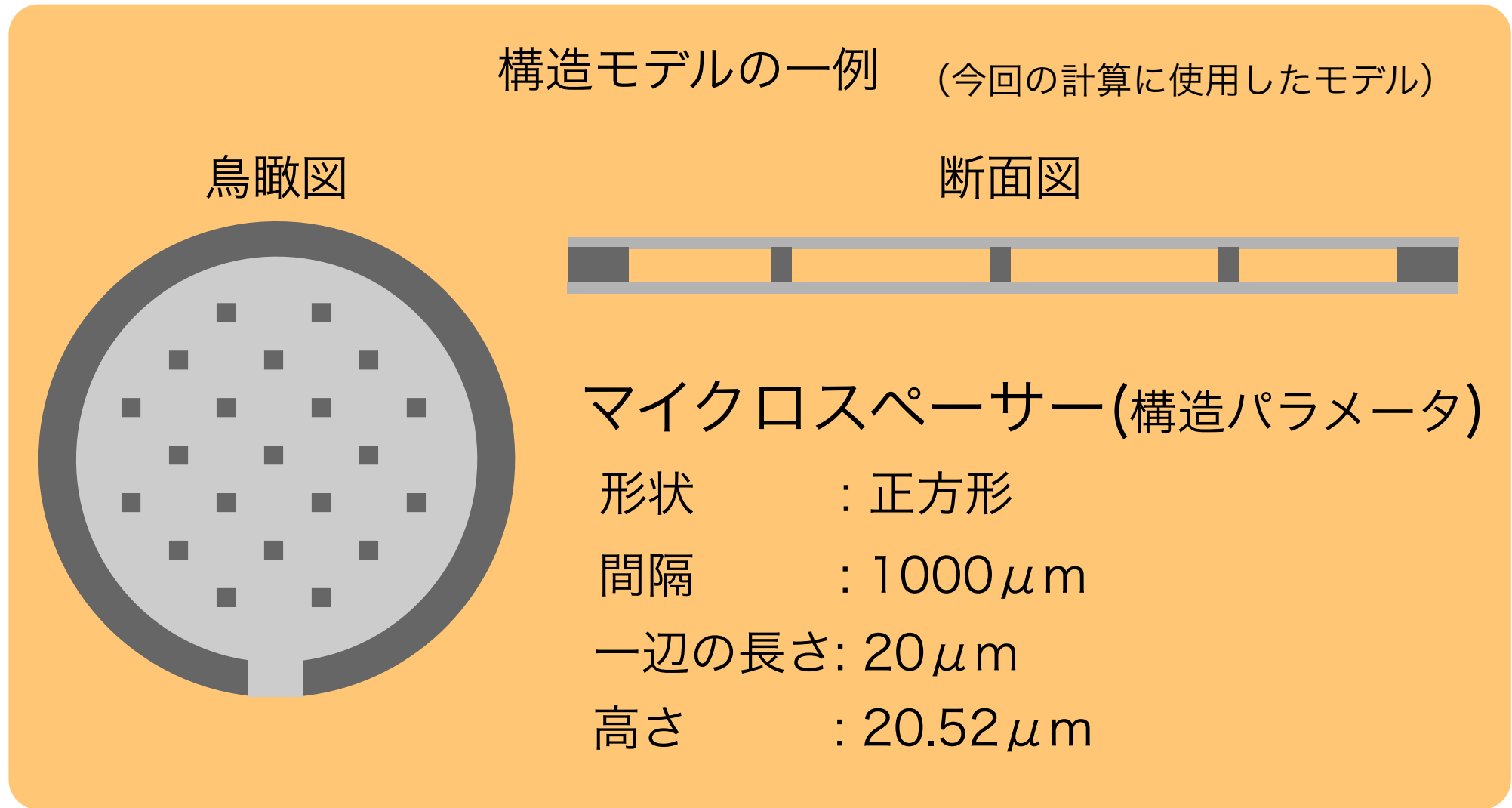
- 低屈折率層を $n\sim 1$** とし、屈折率コントラストを大きくすることで、**さらに高性能な光学フィルター**を実現する。
屈折率コントラストを大きくすることで広遮断域化、単位積層数あたりの遮断率が向上する。
これにより、必要積層数の減少と歩留まりの向上が期待出来る。

低屈折率層 $n\sim 1$ の達成にむけての**困難**

- これまでの研究のような、構造の大きさ、構造周期がともに着目波長より十分に小さい構造では、**作製・構造上の問題で、 $n\sim 1.4$ が限界**である。
- $n=1$ のフィルターとしてはSi-airタイプがある。しかし、中間赤外線～サブミリ波では、**自重によるたわみ**により所望の透過率特性が得られなくなる。

新しいアイデア『**マイクロスペーサー**』で低屈折率層 $n\sim 1$ の達成する

- サブ波長スケールの柱構造（マイクロスペーサー）**を作製し、これでSi層を支えることで**たわみ問題を解決**する。
構造周期は、たわみ量が透過率特性に影響が出ない程度に**大きく**することで空隙率を十分に大きくし、 **$n\sim 1$ を実現**する。



まとめ

- 中間赤外線帯にて冷却サイクルに強い単一素材多層干渉フィルターの開発に成功した。
- より高性能な単一素材多層干渉フィルター（低屈折率層 $n\sim 1$ ）を実現する**マイクロスペーサー**を提案した。（現在、試作品を作成中）
- 今後は試作品の透過率特性、たわみ抑制効果を測定してマイクロスペーサー型単一素材多層干渉フィルターが有用であることを実証する。