

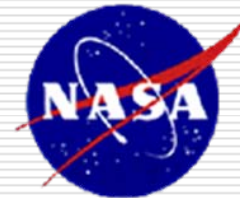
晩期星における珪酸塩ダスト生成の再現実験

木村勇氣¹, Joseph A. Nuth III²

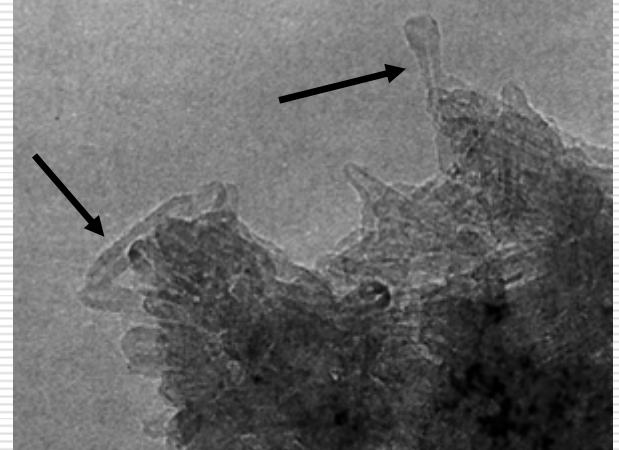
1) 東北大学



2) *NASA Goddard Space Flight Center, USA*

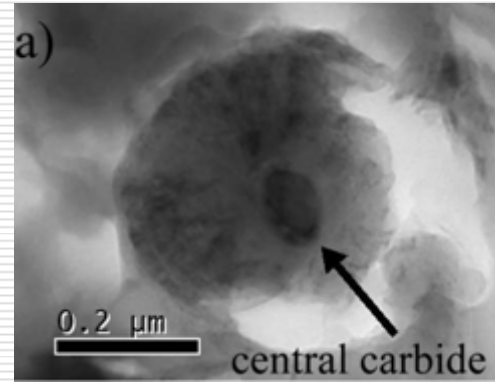


Examples of the cosmic dust still undefined formation route



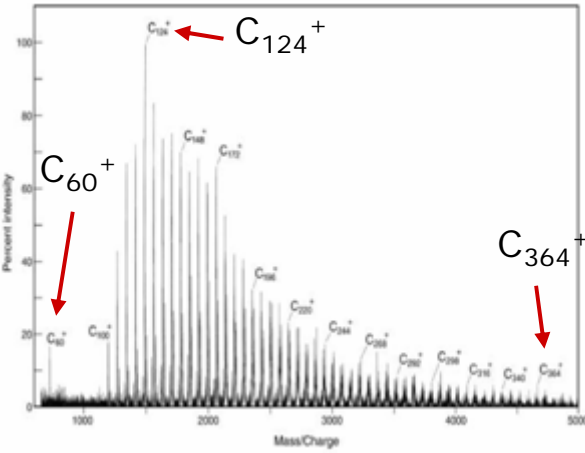
Nanotube

Frans J. M. Rietmeijer, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (1992) 1668.



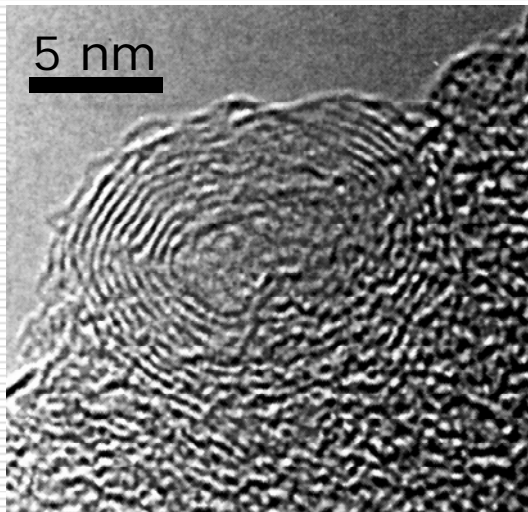
Core-mantle grain

Croat et. al., *ApJ*, 631 (2005) 976.



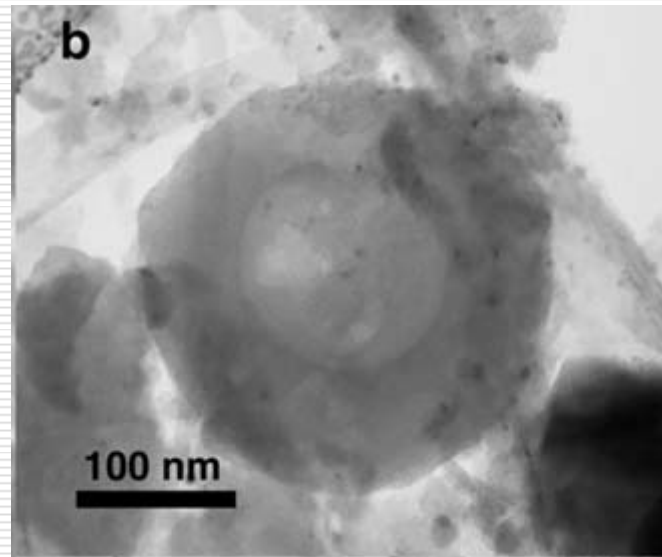
Giant Fullerenes

Becker et al. *Nature* 400 (1999) 227.



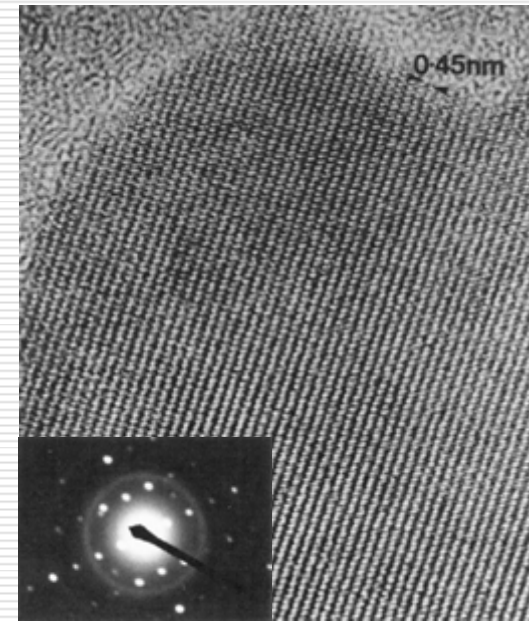
Onion-like carbon

Henning, Th., *Astrophysics of Dust*, ASP Conference Series, 309 (2004) 606.



Organic Globules

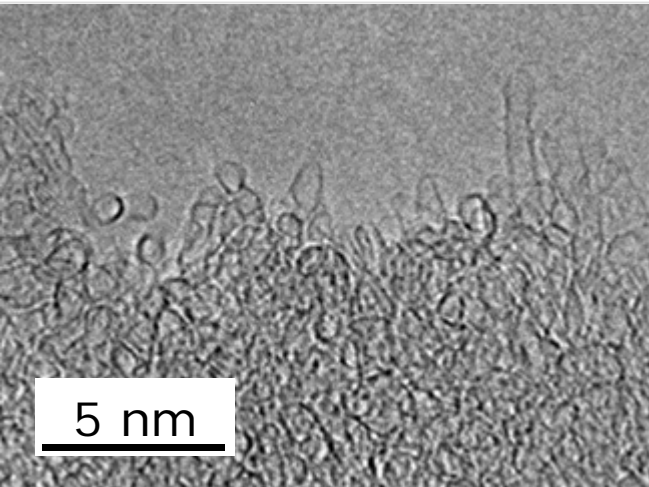
Garvie & Buseck, *Lunar and Planetary Science Conference* (2006) 1455.



Carbyne crystal

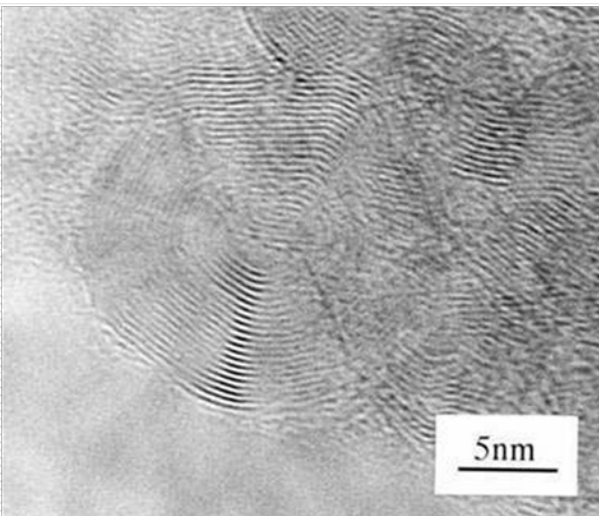
(Gilkes & Pillinger, In *Carbyne and Carbynoid structures*, Heimann et al., Eds., (1999) p. 17-30)

Examples of the cosmic dust still undefined formation route



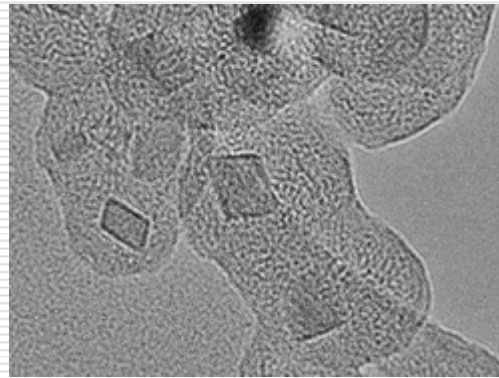
Giant Fullerenes

Y. Kimura et al., *ApJ*, 632 (2005) L159.



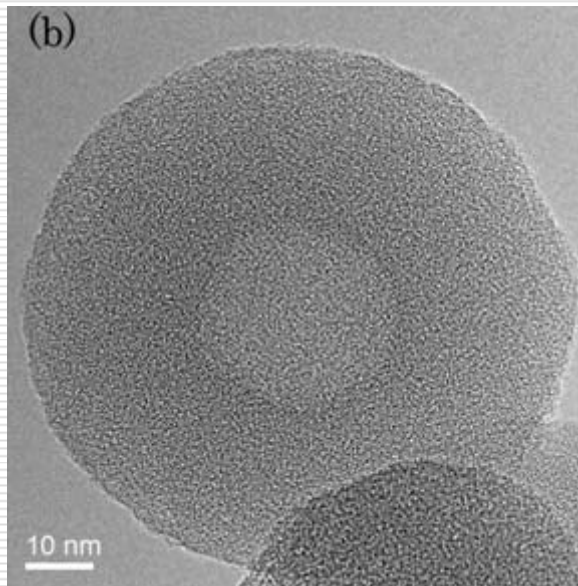
Onion-like carbon

Y. Kimura et al., *Carbon*, 42 (2004) 33.



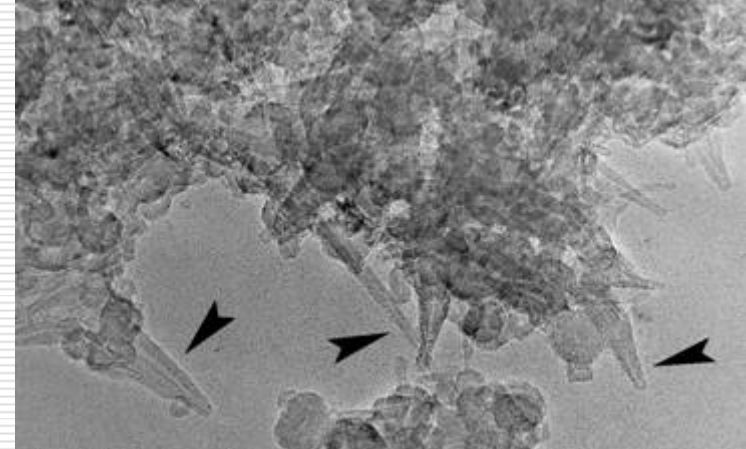
Core-mantle grain

Y. Kimura et al., *Meteoritics & Planetary Science*, 41 (2006) 673.



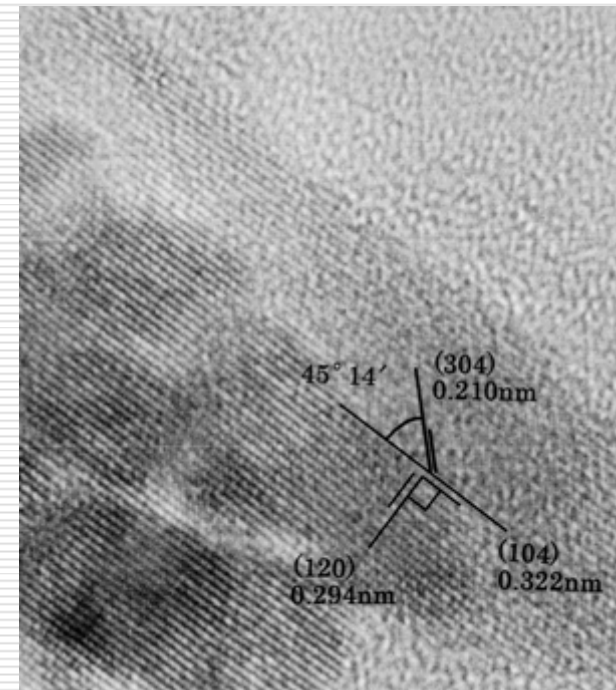
Organic Globules

M. Saito & **Y. Kimura** *ApJL*, 703 (2009) 147.



Nanotube

Y. Kimura & C. Kaito, *Physica E*, 28 (2005) 281.



Carbyne crystal

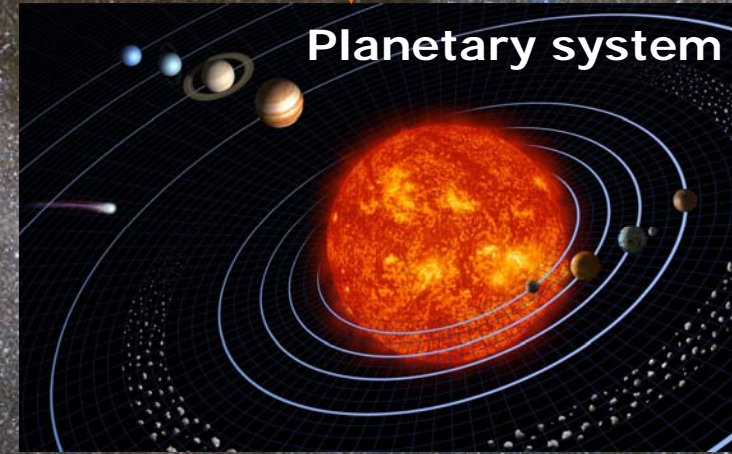
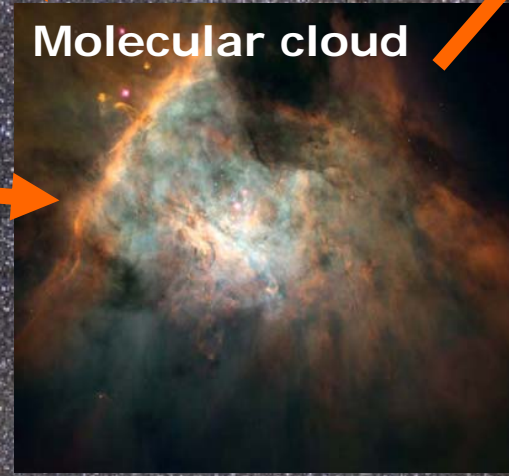
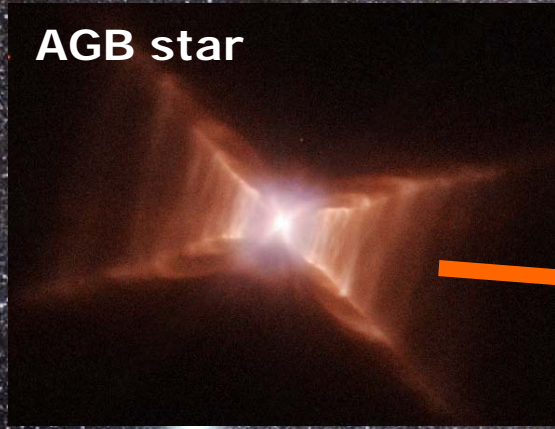
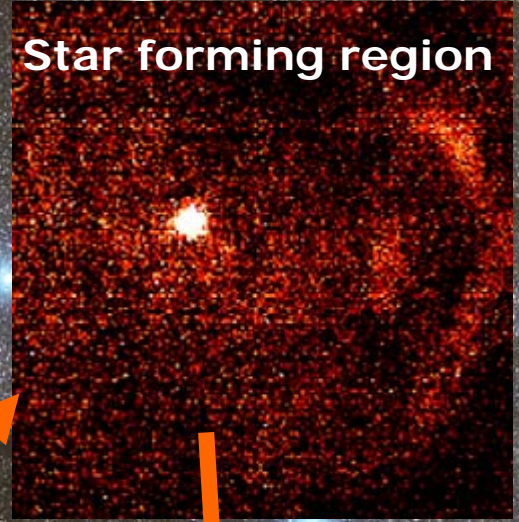
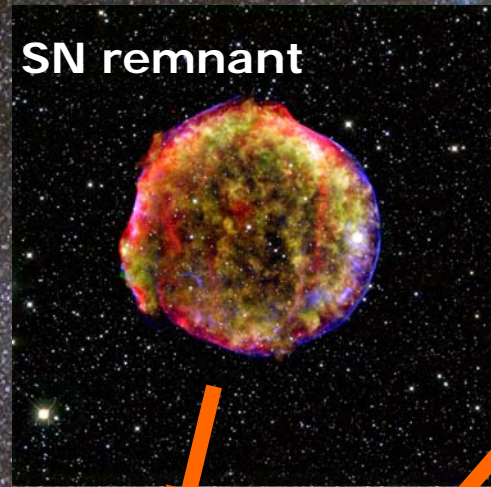
Y. Kimura et al, *Carbon*, 40 (2002) 1043.

99% ガス & 1% 固体微粒子



~ 100 nm

Material of Planets & Life



99% ガス & 1% 固体微粒子



~ 100 nm

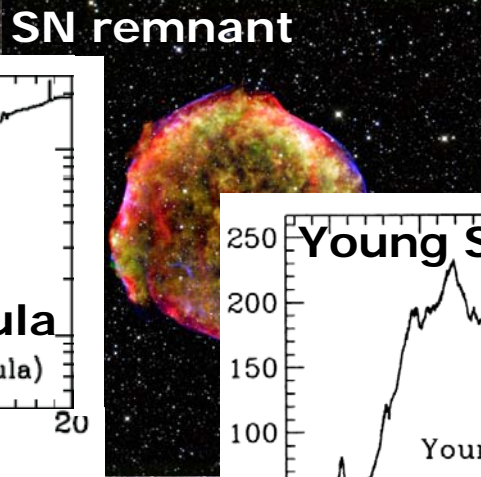
Material of Planets & Life



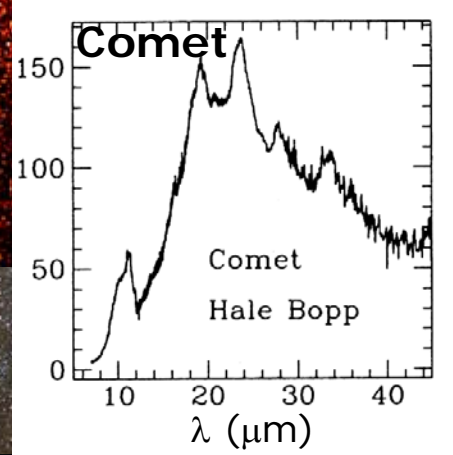
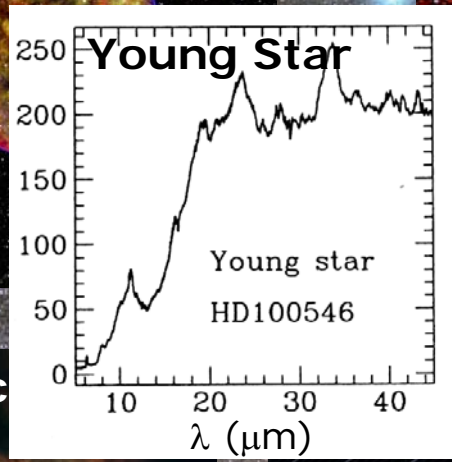
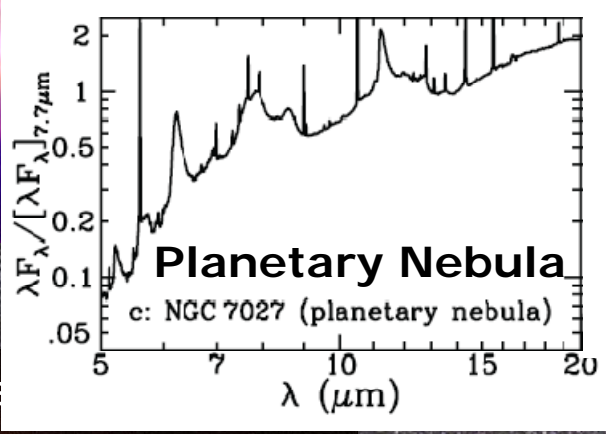
Planetary nebula



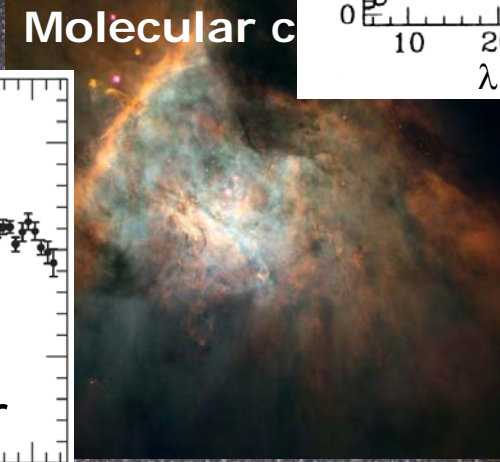
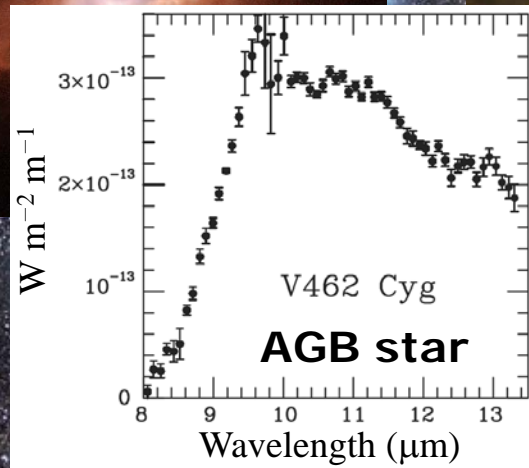
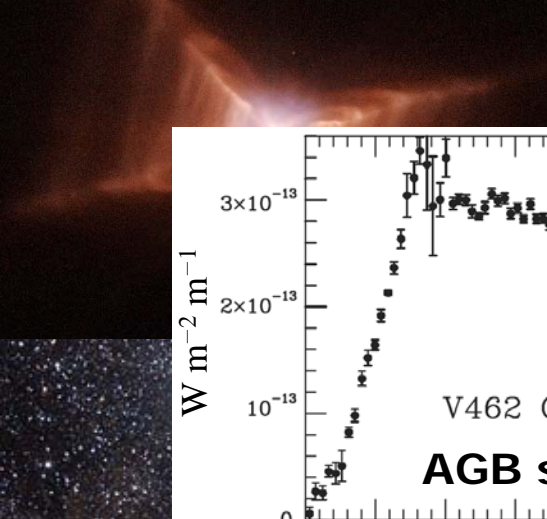
Star forming region



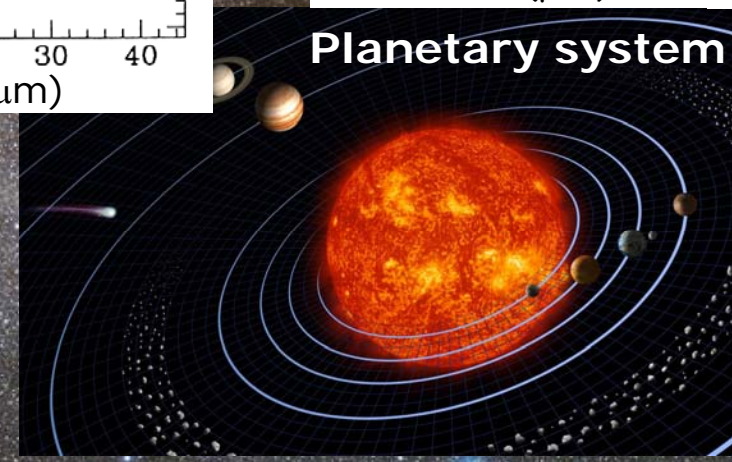
SN remnant



AGB star



Molecular cloud



Planetary system

99% ガス & 1% 固体微粒子



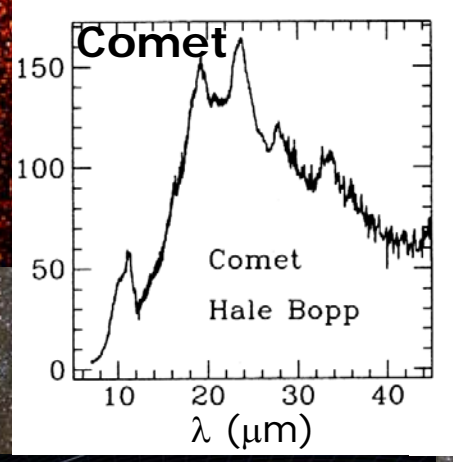
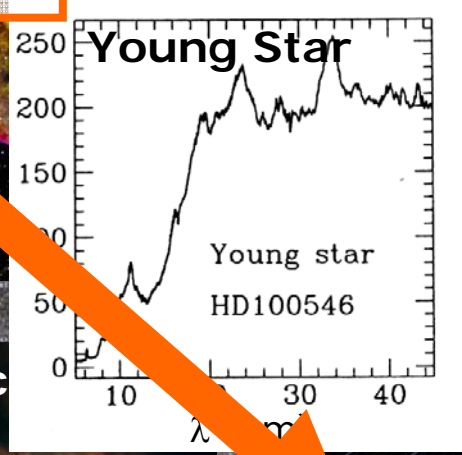
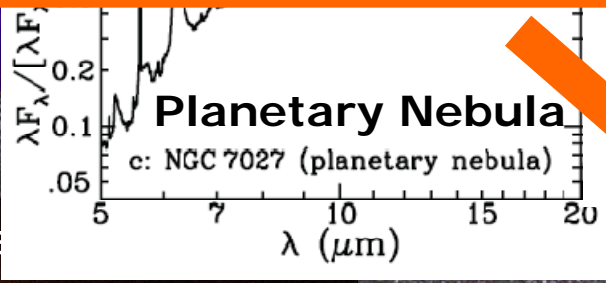
~ 100 nm

Material of Planets & Life

Planetary nebula

Star forming region

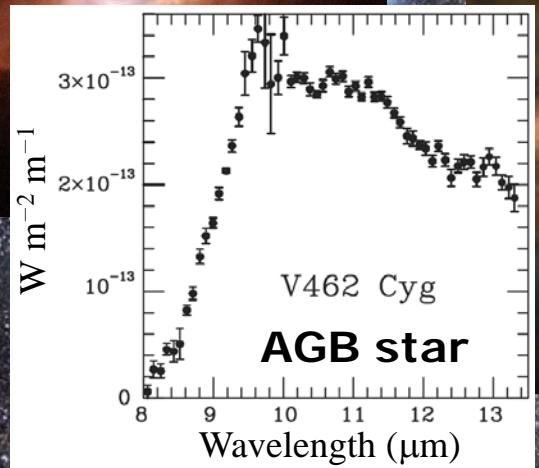
シリケイト: 非晶質
(Molster & Kemper 2005).



AGB star

Molecular c

Planetary system



シリケイト: 結晶質

(e.g., Bradley 2003)

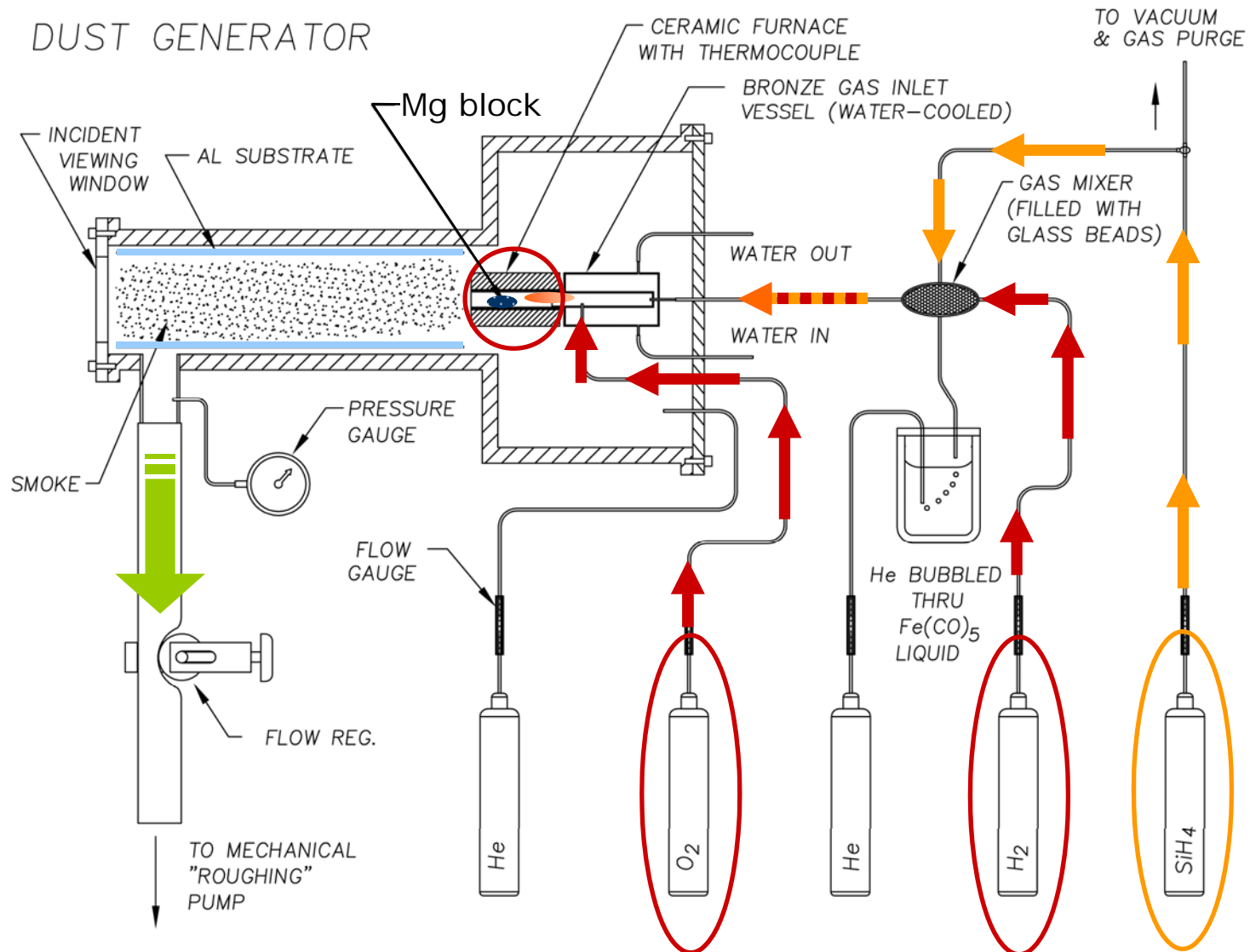
問題点

- 低い質量放出率の天体において結晶質珪酸塩がほとんど存在しないのはなぜか。Speck et al. 2000
- 太陽系のフォルステライト(Mg_2SiO_4)の前駆体が $\text{Mg}:\text{Si}=2:1$ の組成でなくてはならない。Brownlee et al. 2007
- 同位体異常を示す GEMS がフォルステライト組成に対して Mg に乏しい理由。Floss et al. 2006; Keller & Messenger 2007
- ほとんどのフォルステライトが太陽系の酸素同位体組成をもつ理由。Messenger & Keller 2005; McKeegan et al. 2006
- オリビン($(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$)の化学組成が鉄に乏しいのはなぜか。

Smoke Generator



H₂-O₂-Mg-SiH₄ Experiment



(Nelson et al. 1989; Nuth, Rietmeijer & Hill 2002)

H₂-O₂-Mg-SiH₄ Experiment

DUST GENERATOR

H₂: ~1000 sccm

SiH₄: 55 sccm

O₂: 110 sccm

CERAMIC FURNACE WITH THERMOCOUPLE

BRONZE GAS INLET VESSEL (WATER-COOLED)

TO VACUUM & GAS PURGE

Si : O = 1 : 4

WATER OUT

WATER IN

フォルステライト(Mg₂SiO₄)のシリコンと酸素の比に対応

SMOKE

FLOW GAUGE

FLOW REG.

TO MECHANICAL "ROUGHING" PUMP

He

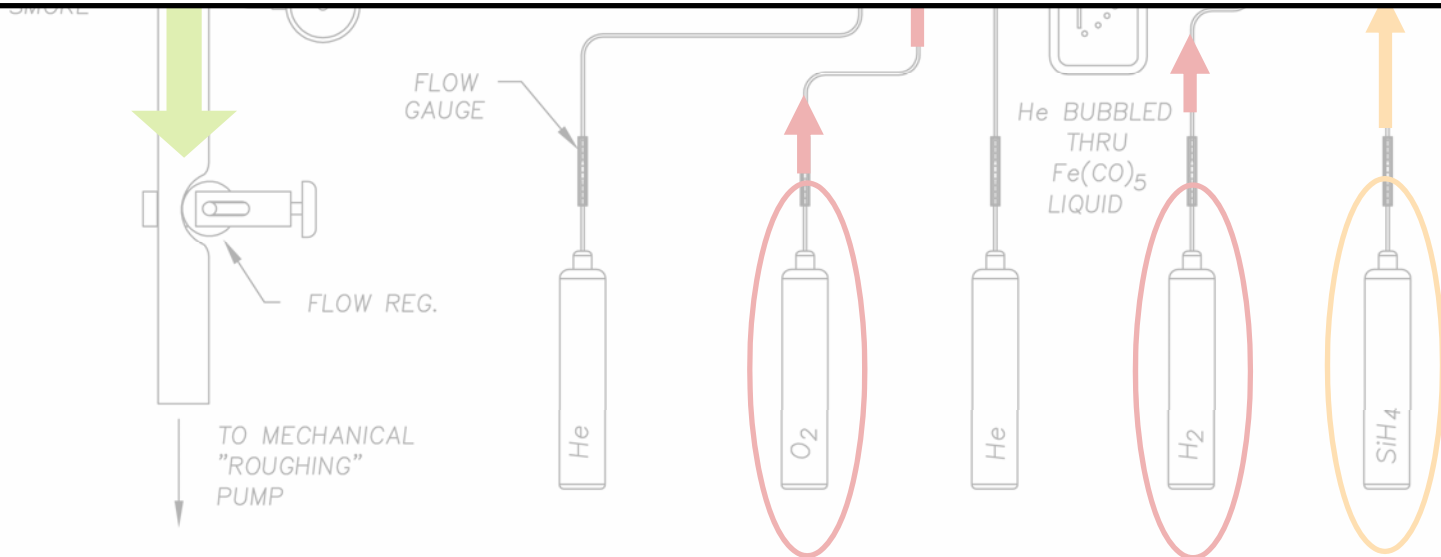
O₂

He

He BUBBLED THRU Fe(CO)₅ LIQUID

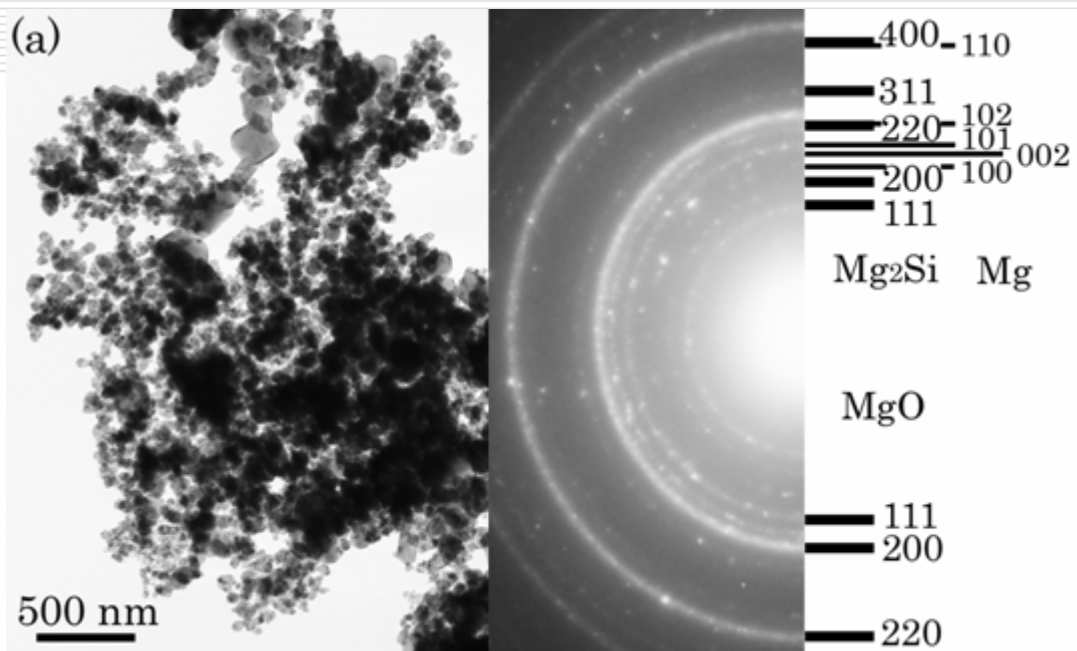
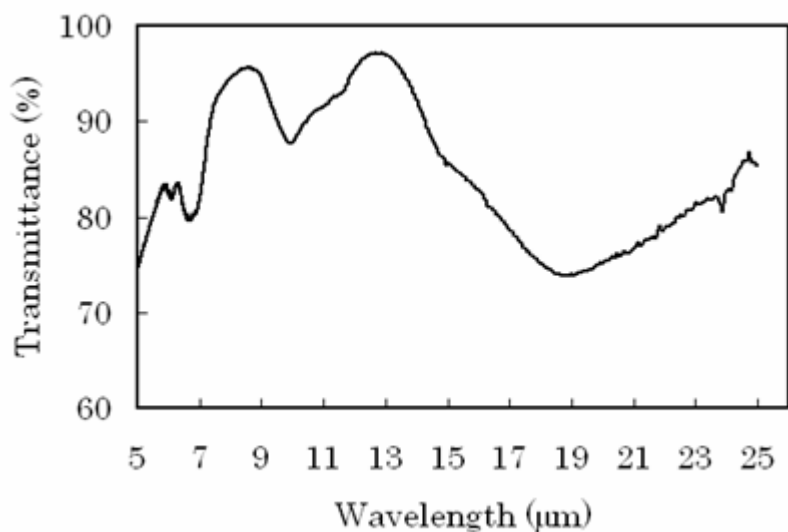
H₂

SiH₄



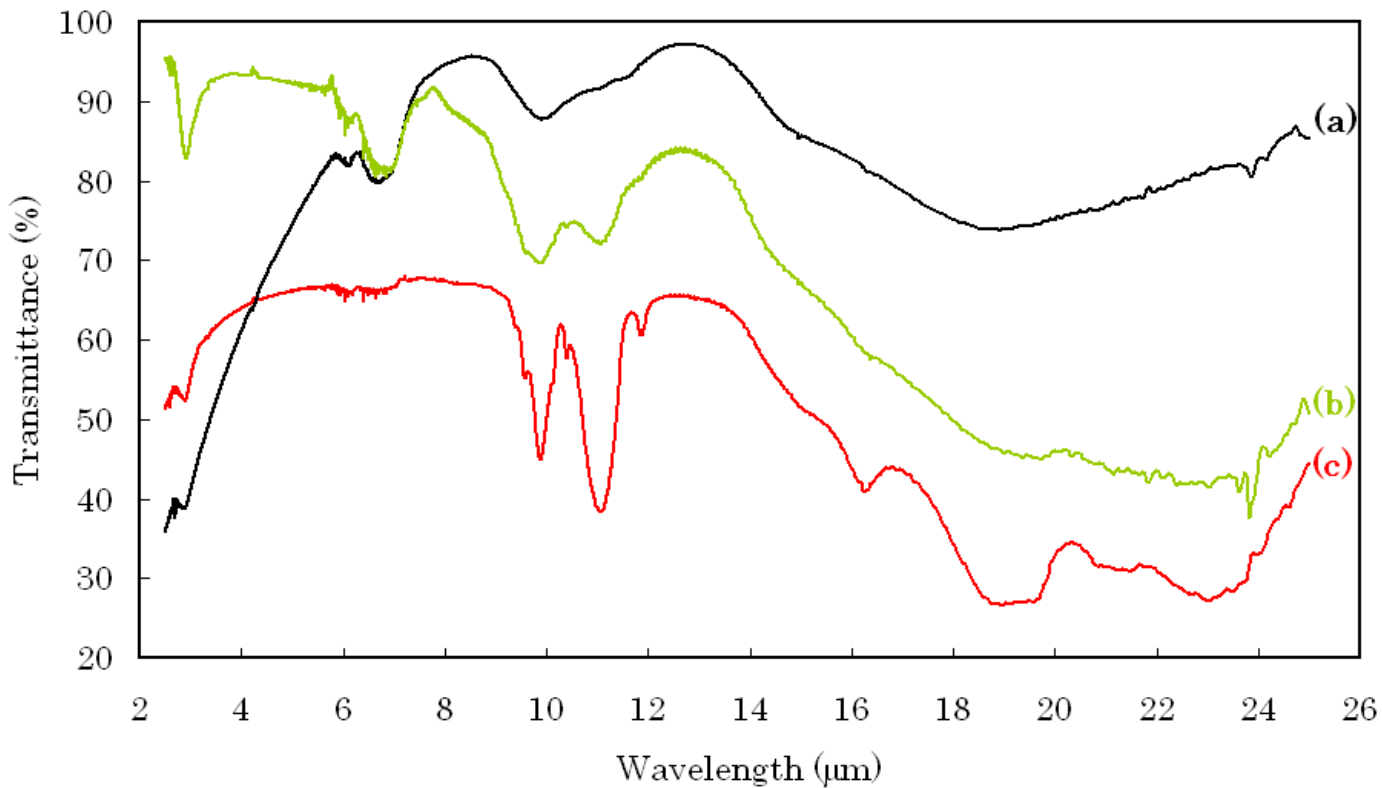
Mid-IR spectra & TEM image

Magnesiumsilica grains



- IRスペクトル: 非晶質シリケートに特徴的な9-10 μmフィーチャー
- 電子回折パターン: Mg₂Si, MgO & metallic Mg
- ガスのSi:Oは1:4だが、多くのMg₂Siが生成している。

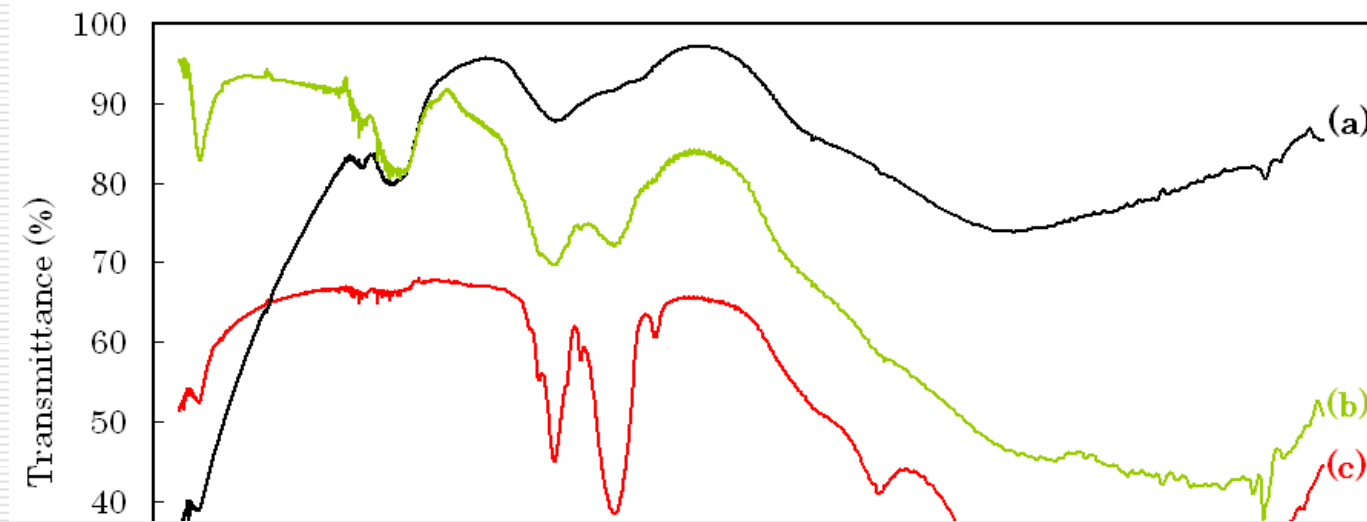
加熱によるMIRスペクトルの変化



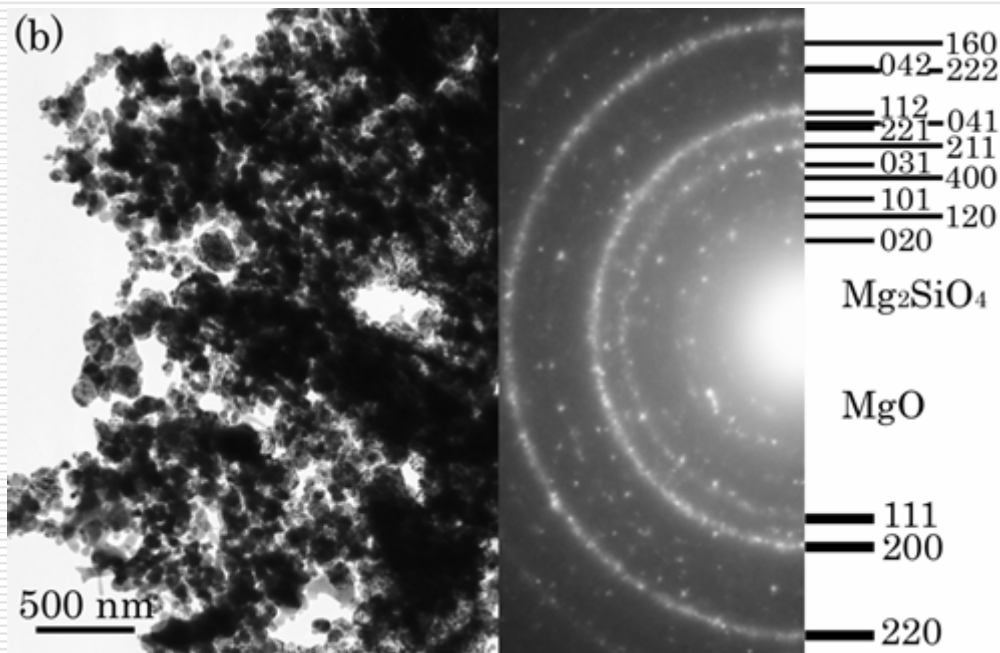
Magnesiumsilica
(a) As-prepared
(b) At 1000 K
(c) At 1200 K

- 加熱により、10 μm帯が結晶質のフィーチャーに変化した。
- 非晶質シリケートの結晶化に加え、Mg₂Siの酸化により、フォルステライトが生成した。

加熱によるMIRスペクトルの変化



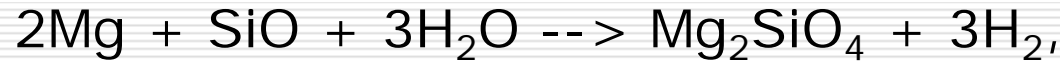
Magnesiumsilica
(a) As-prepared
(b) At 1000 K
(c) At 1200 K



1200 Kに加熱した試料の
TEM像とEDパターン:
Mg₂Siに対応するリングは
見られない。

New formation route of forsterite

フォルステライトのスタンダードな生成モデル:

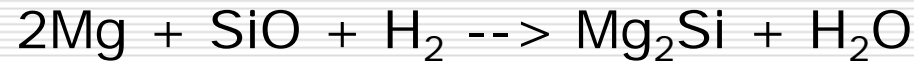


その後、加熱により結晶質の割合が増加する。

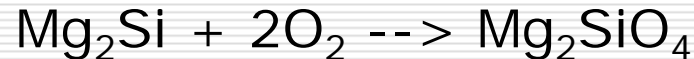


New route!!

晩期星におけるダスト生成



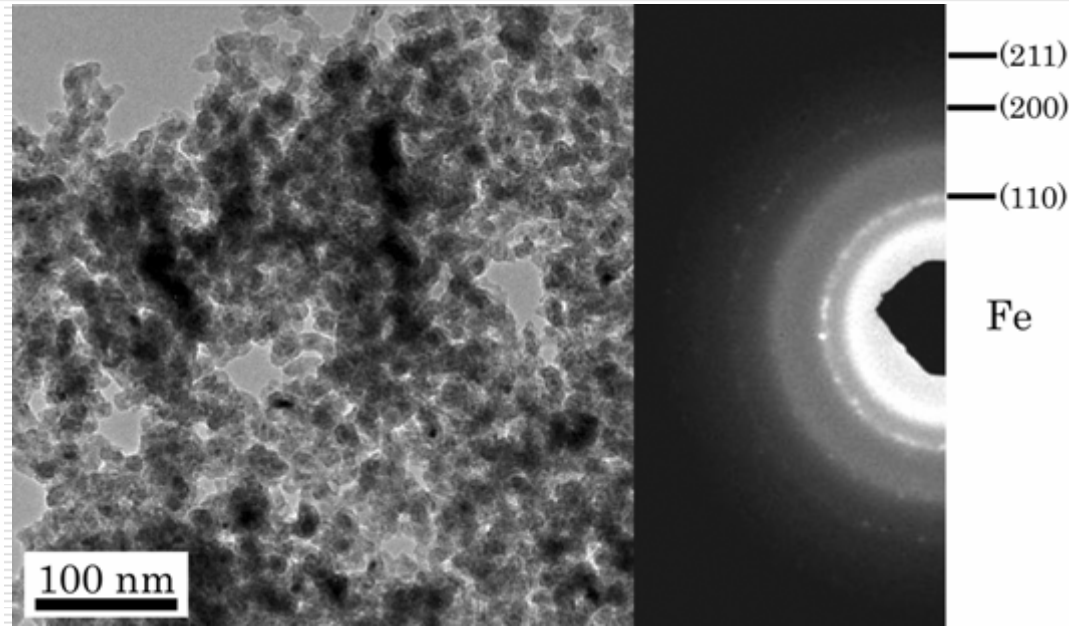
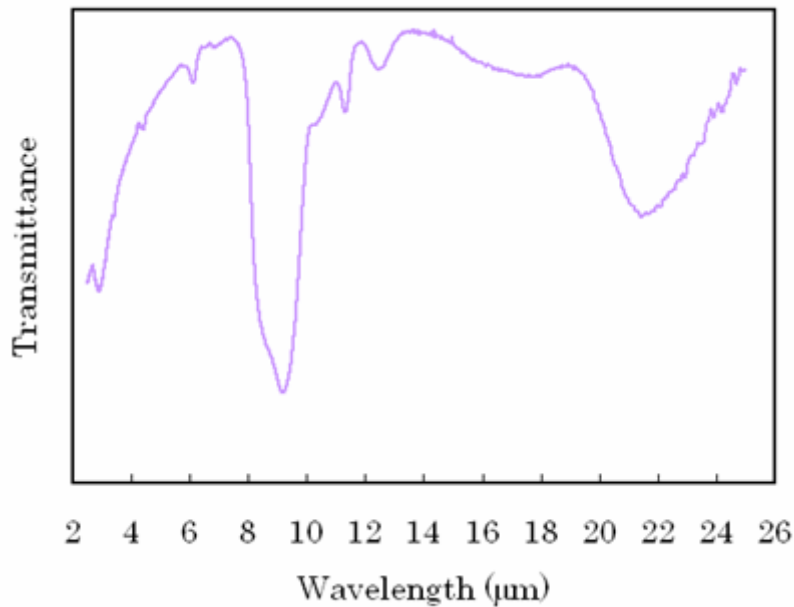
原始太陽系星雲内でのフォルステライトの生成



Mg₂Siの酸化は結晶の完全性に依存している。
(DSCスペクトルから、本実験の粒子では630K以下)

**IDP、隕石、スターダストのサンプルなどのフォルステライトは、
原始太陽系星雲内でMg₂Siが酸化して作られた! ?**

H₂-O₂-Fe(CO)₅-SiH₄ Experiment



- ❑ 鉄シリサイド粒子の生成は見られなかった。
- ❑ この結果は、MgよりもFeが豊富な非晶質シリケートの生成が優勢になることを示している。
- ❑ 晩期星に見られる10 μmフィーチャーはFeリッチなシリケートによるものかも知れない。

Our scenario of Silicate Formation

晩期星からの放出ガス

Mg : Fe : Si = 10 : 10 : 10 Mg_2Si

残ったガス

Mg : Fe : Si = 2 : 10 : 6 Fe-リッチ 非晶質シリケート

プレソーラー非晶質シリケート

- 低質量星において結晶質珪酸塩がほとんど存在しない理由。Speck et al. 2000
- 太陽系のフォルステライトの前駆体がMg:Si=2:1の組成でなくてはならない理由。Brownlee et al. 2007
- 同位体異常を示すGEMSがフォルステライト組成に対してMgに乏しい理由。Floss et al. 2006; Keller & Messenger 2007
- ほとんどのフォルステライトが太陽系の酸素同位体組成をもつ理由。Messenger & Keller 2005; McKeegan et al. 2006
- オリビンの化学組成が鉄に乏しいのはなぜか。

問題点の解決案

- 問1: 低い質量放出率の天体において結晶質珪酸塩がほとんど存在しないのはなぜか。 Speck et al. 2000

解: 進化が進んでいないので、Oに比べてHが相対的に多いから

- 問2: 太陽系のフォルステライト(Mg_2SiO_4)の前駆体がMg:Si=2:1の組成でなくてはならない。 Brownlee et al. 2007

- 解: 前駆体は Mg_2Si

- 問3: 同位体異常を示すGEMSがフォルステライト組成に対してMgに乏しい理由。
Floss et al. 2006; Keller & Messenger 2007

- 解: Mgはシリサイドに取られるため、晩期星で作られる非晶質シリケート中のMgの組成比はフォルステライト組成に比べて小さくなる

- 問4: ほとんどのフォルステライトが太陽系の酸素同位体組成をもつ理由。
Messenger & Keller 2005; McKeegan et al. 2006

- 解: Mg_2Si が太陽系内で酸化したため

- 問5: オリビン($(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$)の化学組成が鉄に乏しいのはなぜか。

- 解: Mg_2Si が前駆体であるため

詳しくは [Y. Kimura & J. A. Nuth III, ApJL, 697 \(2009\) L10-13.](#)

Acknowledgements

- Adrian J. Brearley and Ying-Bing Jiang provided technical support for TEM analysis at the University of New Mexico.
- Grants for Research Abroad from April 2004 to March 2006 and KAKENHI (19840048) from April 2006 to March 2008 of Japan Society for the Promotion of Science.
- NASA's Cosmochemistry Research and Analysis Program.
- Tohoku University Global COE program for "Global Education and Research Center for Earth and Planetary Dynamics".