

太陽電池の高効率化に向けた結晶成長研究：

CdTe多結晶とコロイド結晶の成長制御

野澤 純

[太陽エネルギー変換材料研究ユニット/特任助教]

内容

1. 一方向凝固によるCdTe多結晶育成
2. 異種結晶基板を利用したコロイド結晶成長制御

CdTeの太陽電池への応用

- ・ 高効率 (~20%)

Green, et al., Prog. Photovolt. Res. Appl. 2020.

- ・ 高い長期安定性能

Rawat et al., International Conf. on Adv. in Energy Research 2015.

- ・ 低コスト, 温室効果ガスの排出量や水の使用量が少ない

Peng et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013.

単結晶と気相成長による多結晶育成しかなかった



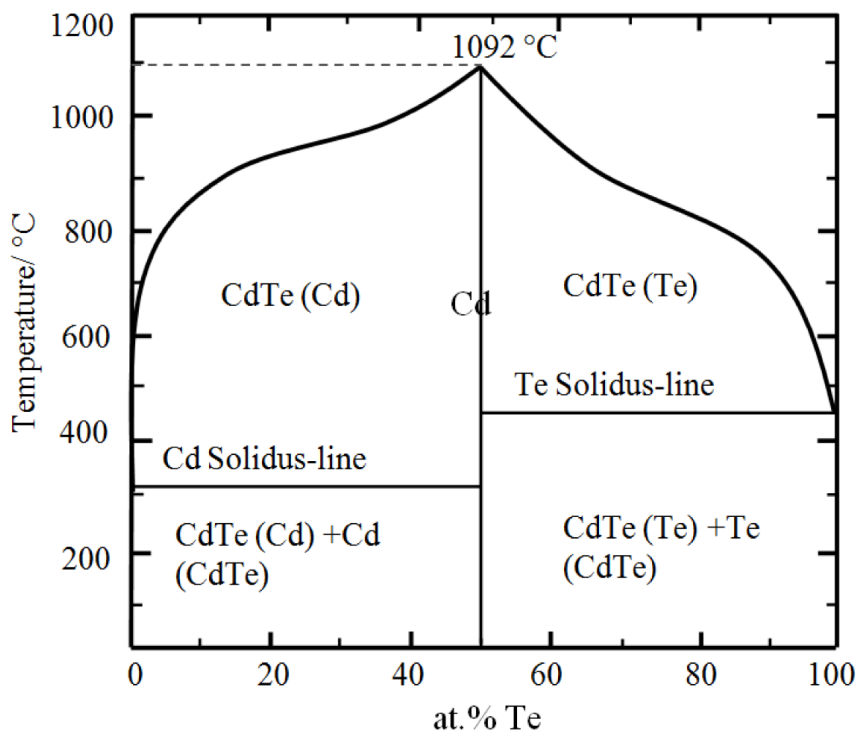
融液成長による多結晶CdTeの結晶育成



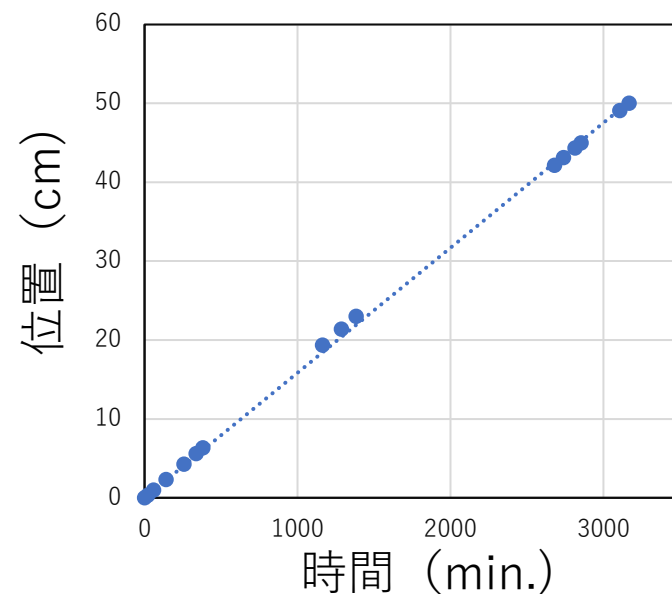
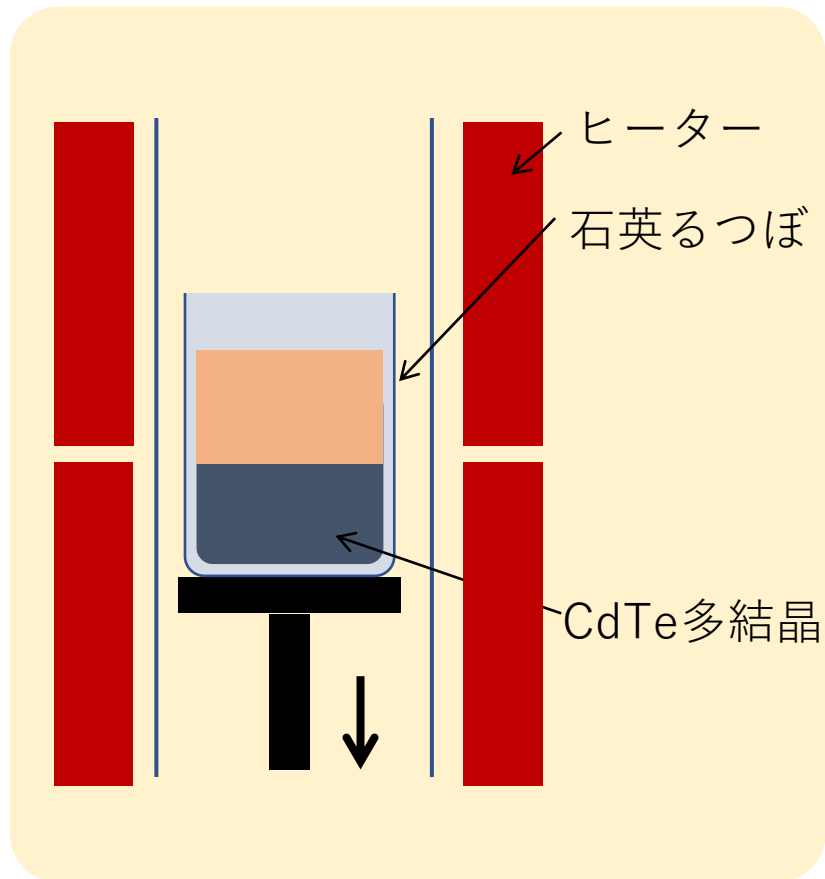
Romeo et al., Prog. Photovolt: Res. Appl. 2004.

一方向凝固によるCdTe多結晶育成

状態図



育成炉模式図

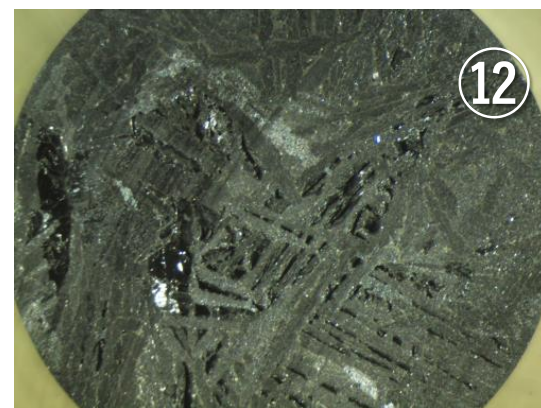
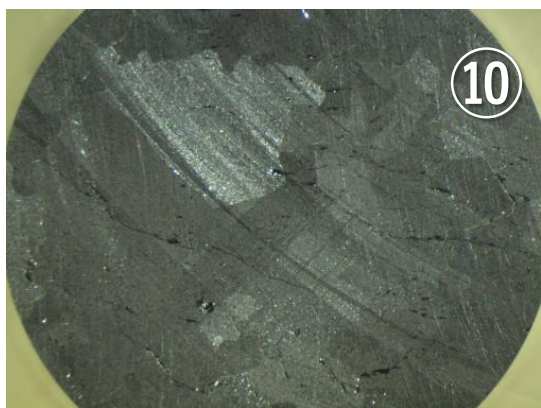
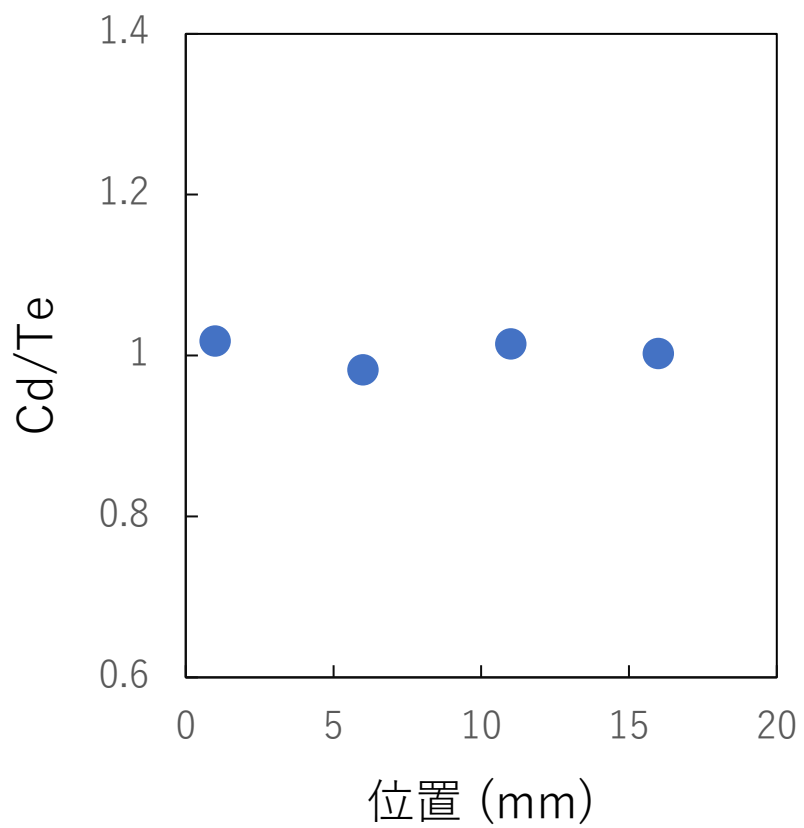
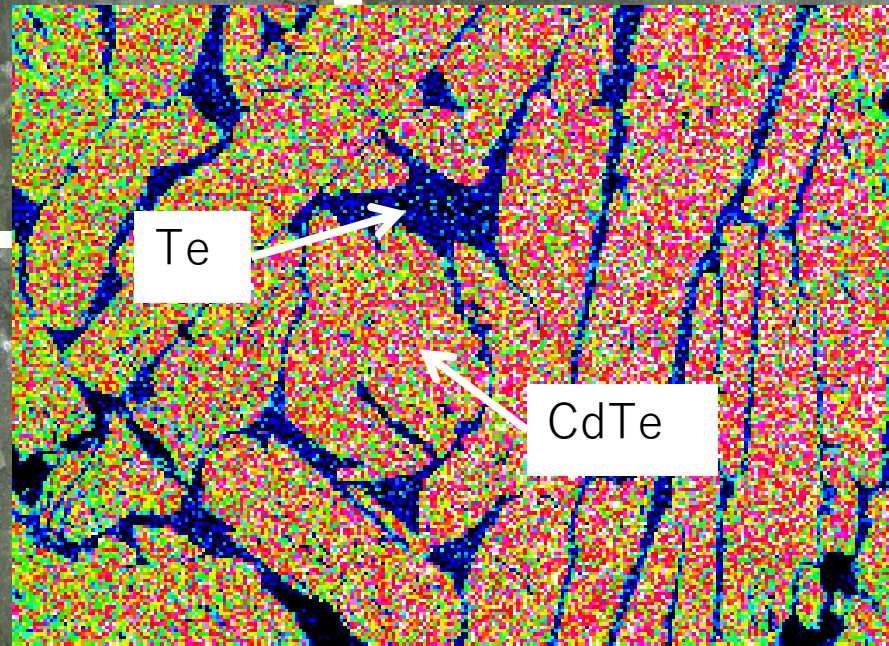
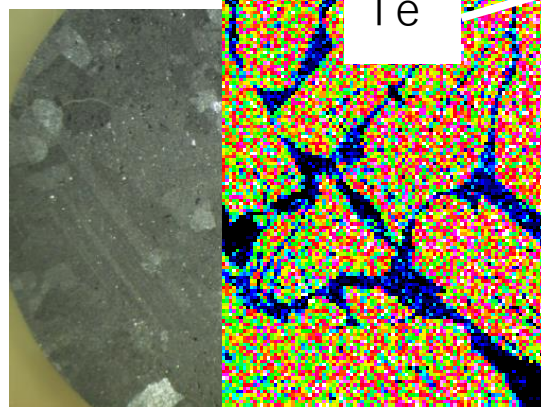
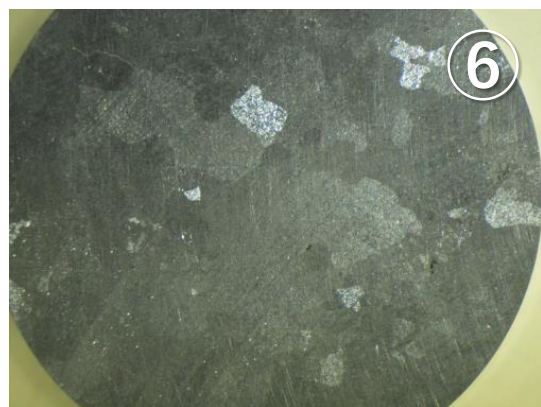
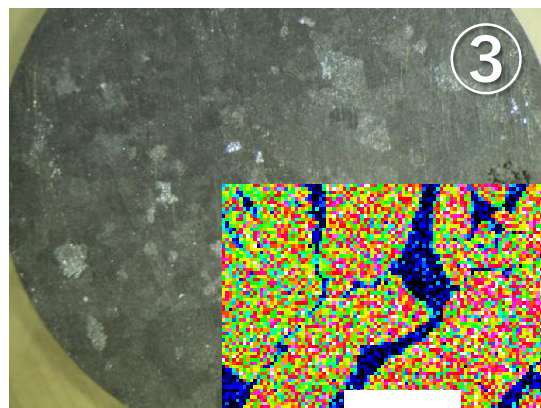
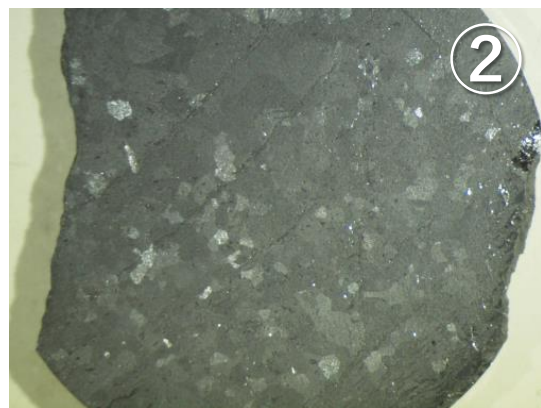
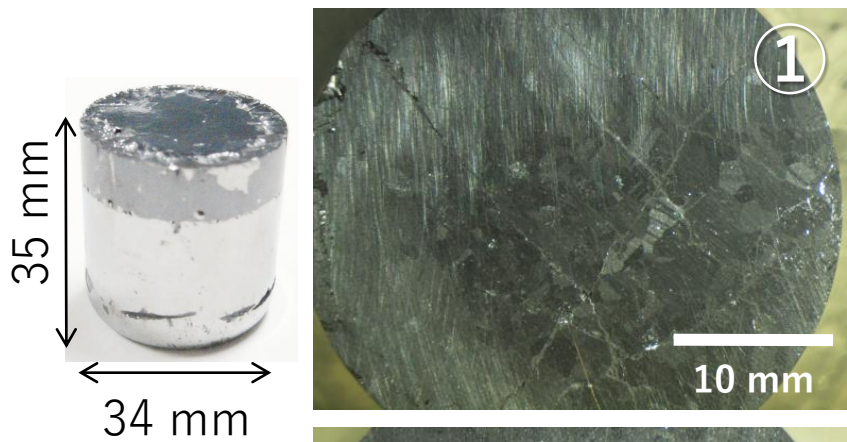


$$V = 0.95 \text{ mm/hr}$$



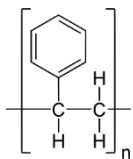
34 mm

35 mm

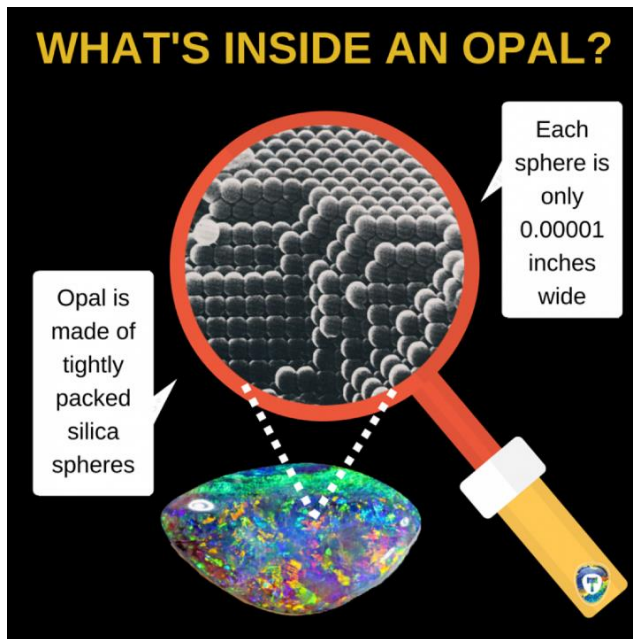


コロイド結晶の太陽電池への応用

コロイド結晶：
コロイド粒子（粒径<1 μm ）の規則配列構造体

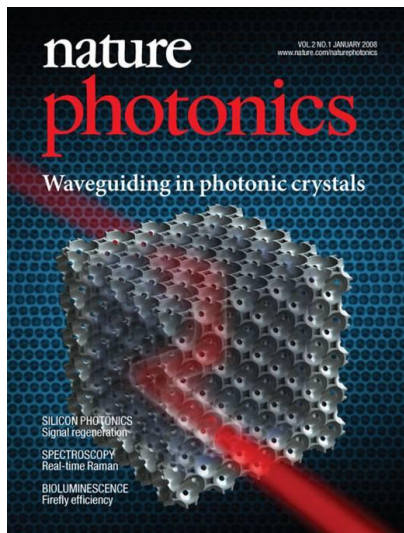


Polystyrene 200 nm



フォトニック結晶

モデル系



光の伝播を制御

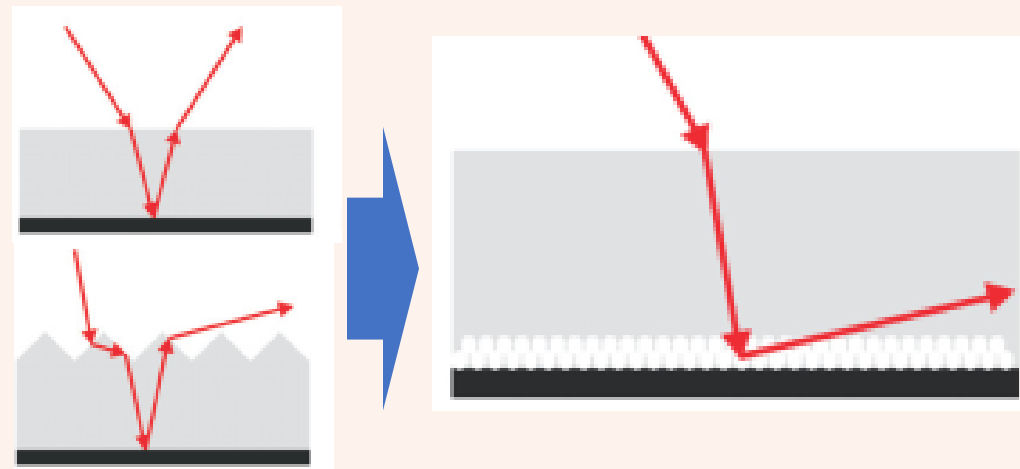
Rinne et al., Nature Photonics, 2007.



準安定相を経由した2段階の固相固相転移

Peng et al., Nature Material, 2015.

太陽電池への応用

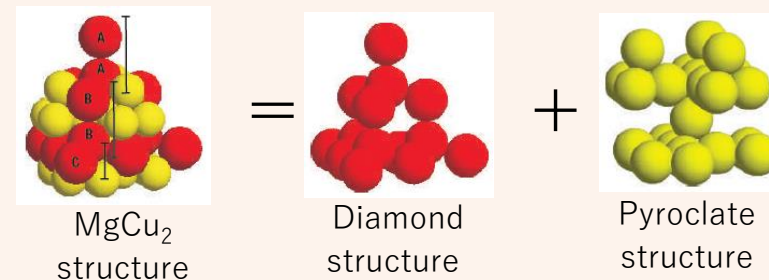


Bermel et al., Opt. Express 2007.

ダイヤモンド構造

可視光領域での3D完全フォトニックバンドギャップの発現

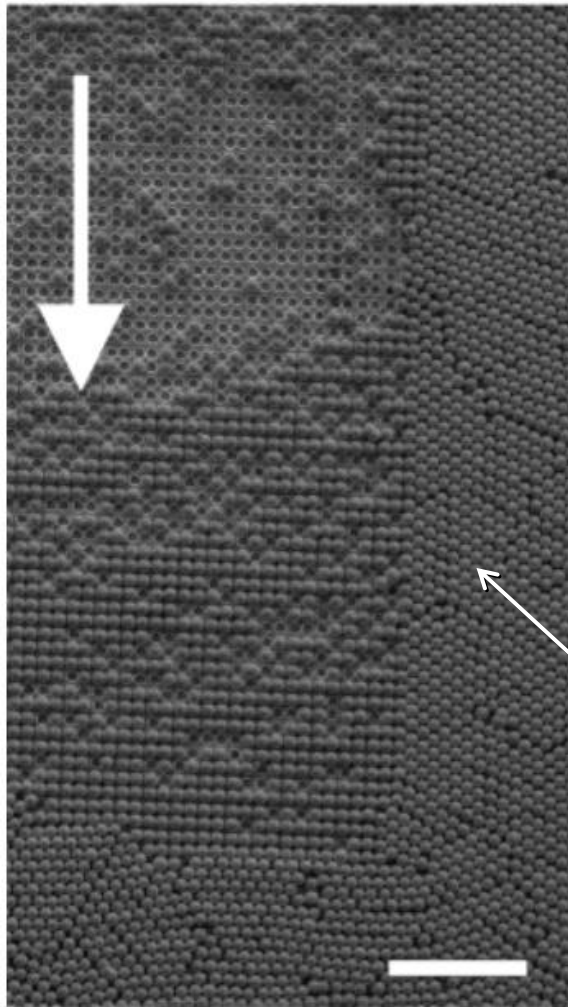
2元型規則構造を用いたダイヤモンド構造の作製



Hynninen et al., Nat. Mat. 2007.

異種結晶基板を利用した2元系コロイド結晶育成

テンプレートを利用した結晶育成 (ホモエピ°)

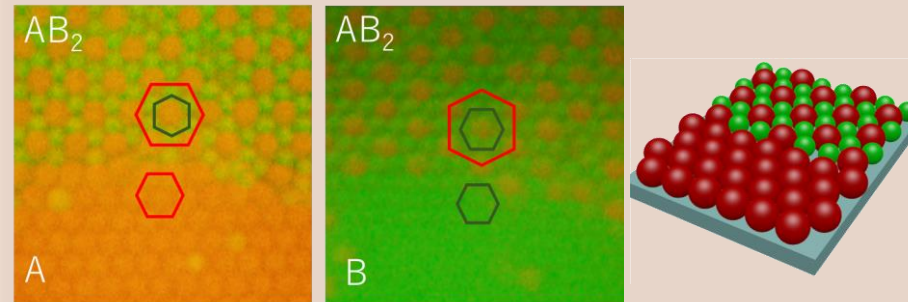


10 μm

Hoogenboom et al., Nano Lett. 2004

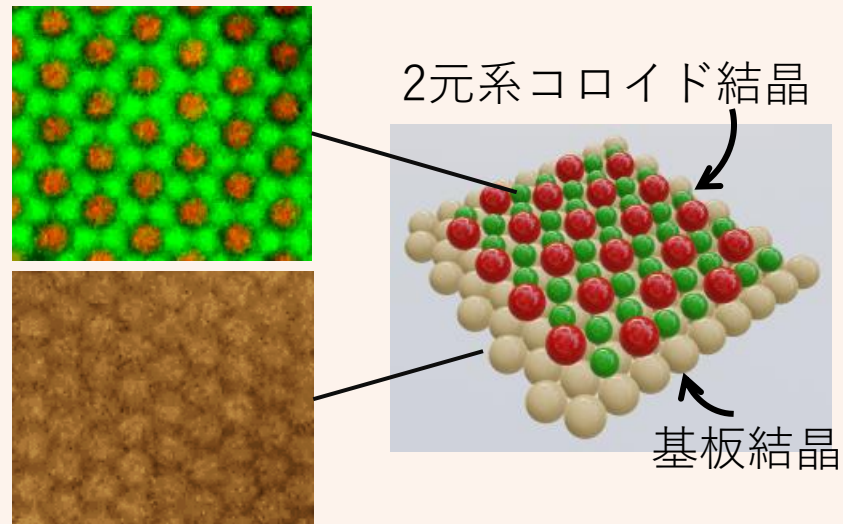
テンプレート無し

異種結晶基板を利用した結晶育成 (ヘテロエピ°)



1次元ヘテロエピタキシャル成長

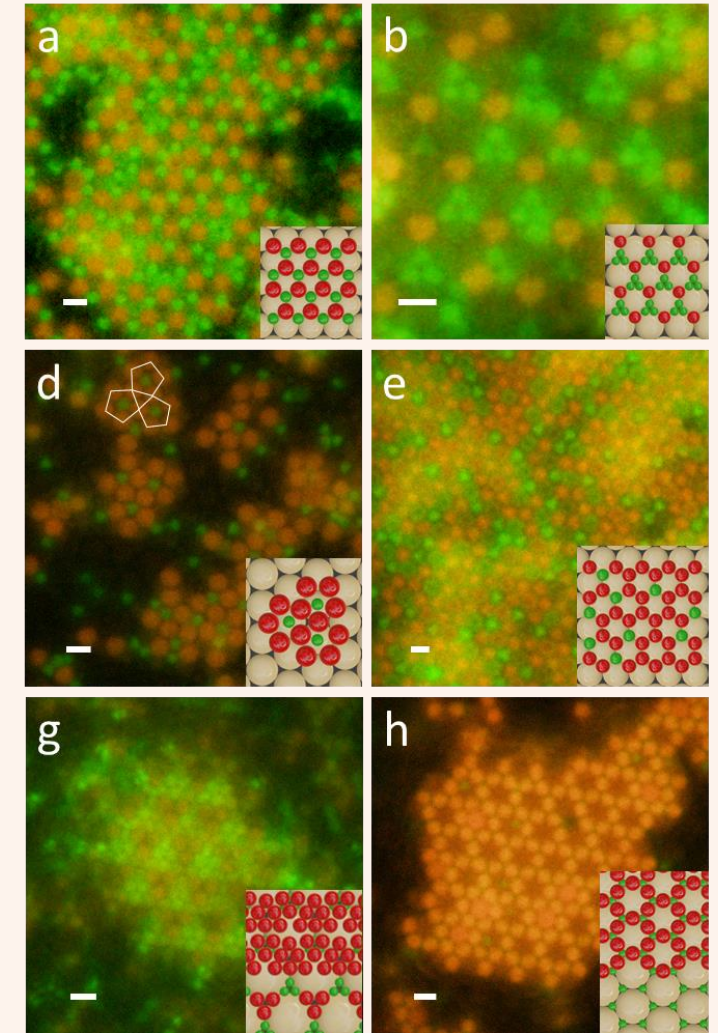
Nozawa et al., Cryst. Growth Des. 2020



2元系コロイド結晶

基板結晶

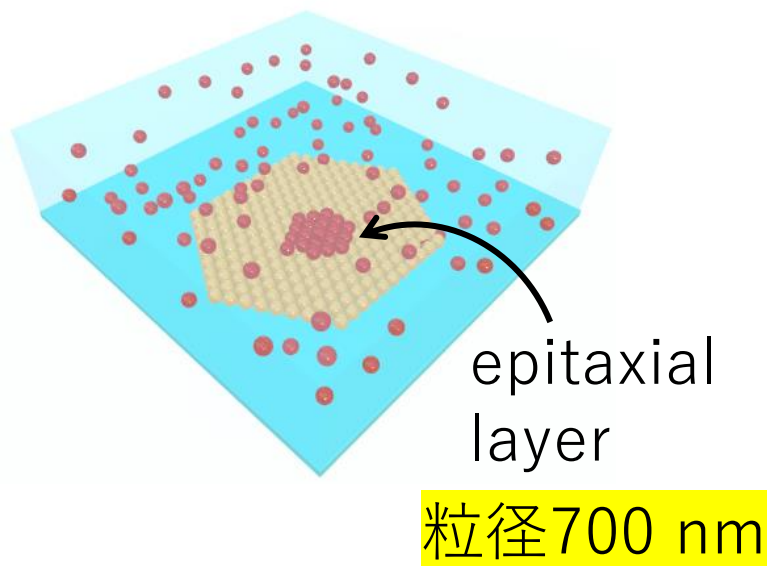
Nozawa et al., J. Colloid Interf. Sci. 2022



多様な構造の2元系結晶の育成

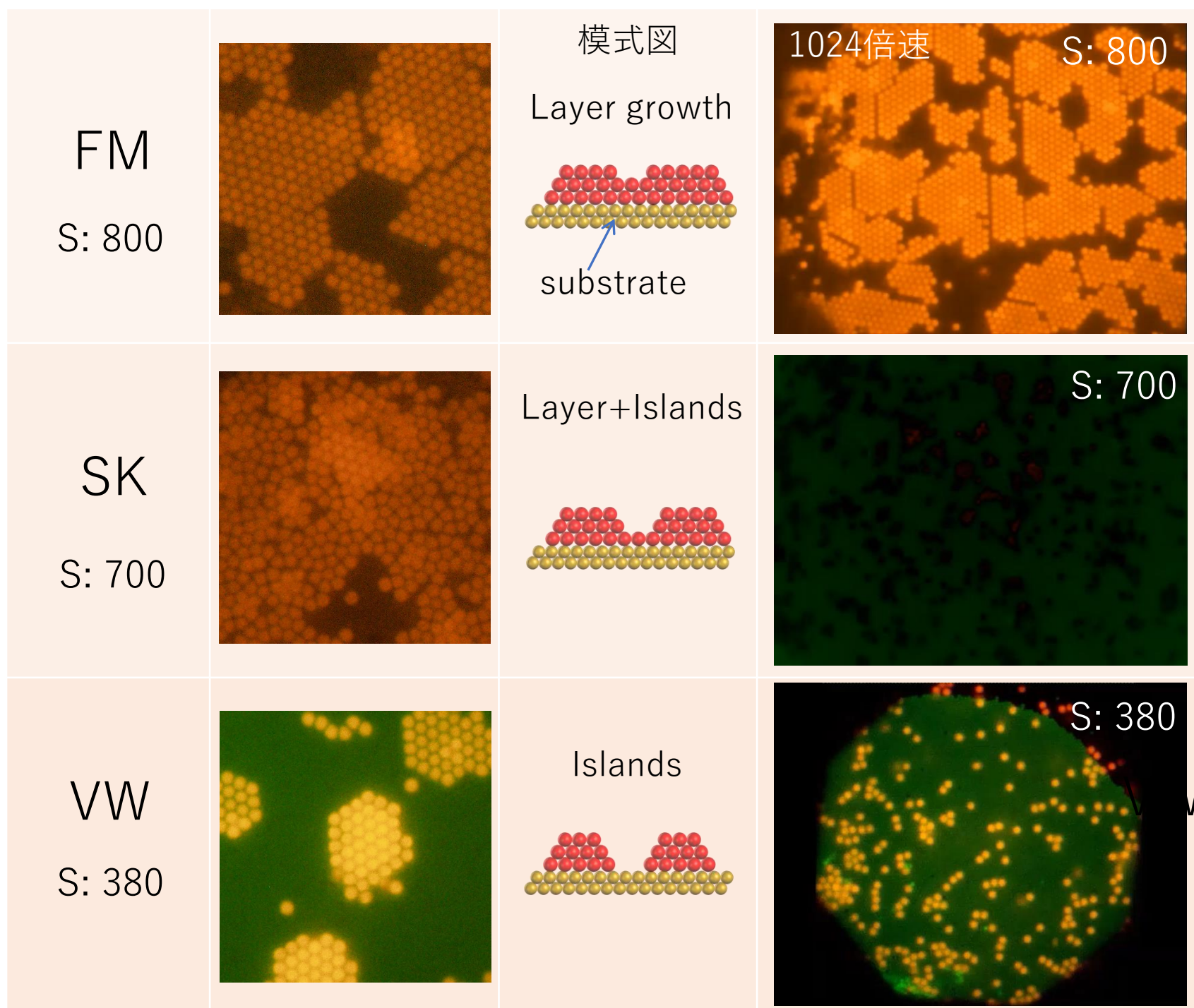
MgCu₂構造と同じ組成の結晶育成に成功

コロイド結晶成長の ヘテロエピタキシャル 成長メカニズム

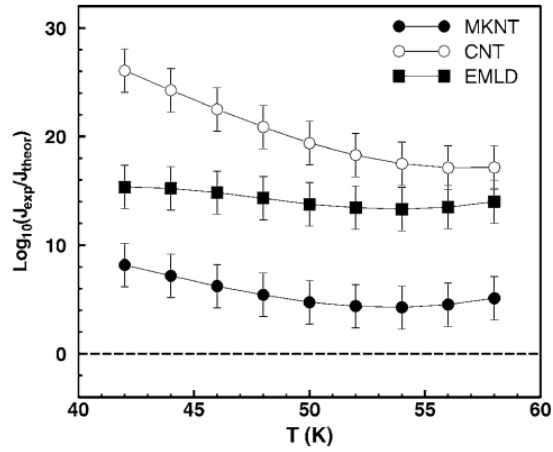


単一粒子系コロイド結晶成長

Nozawa et al., J. Phys. Chem. Lett.
2022

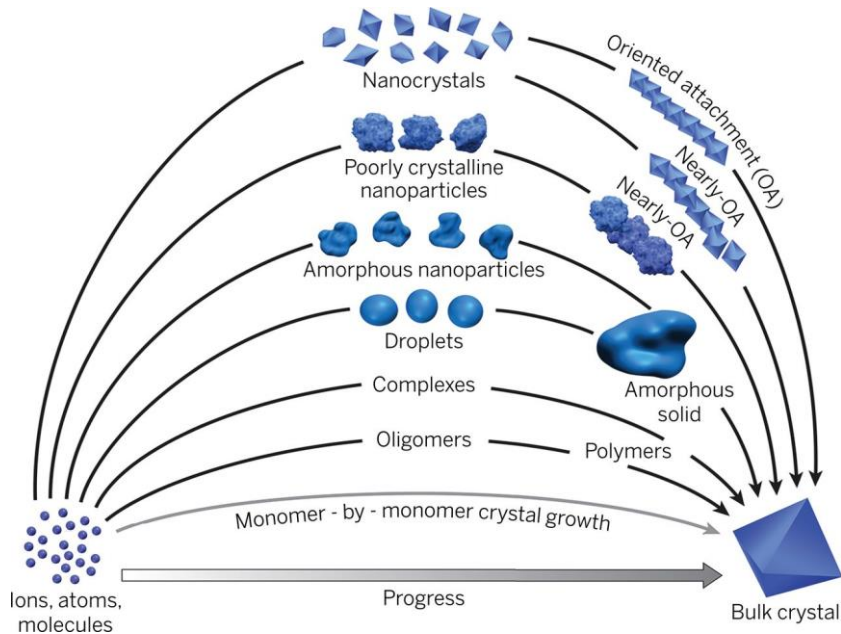


コロイド系をモデルとした核形成の研究



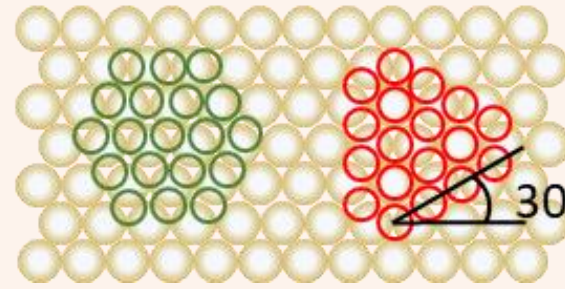
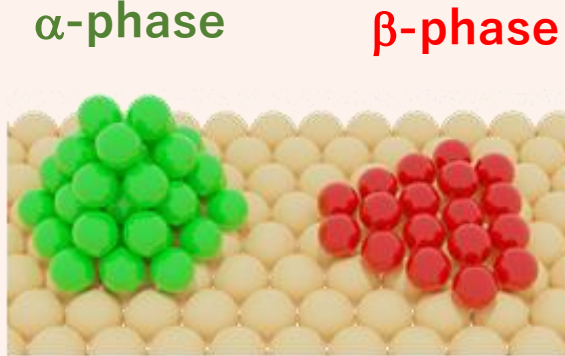
Arの核形成頻度
における実験と
理論の比較

Kalikmanov et
al., J. Chem.
Phys. 2008

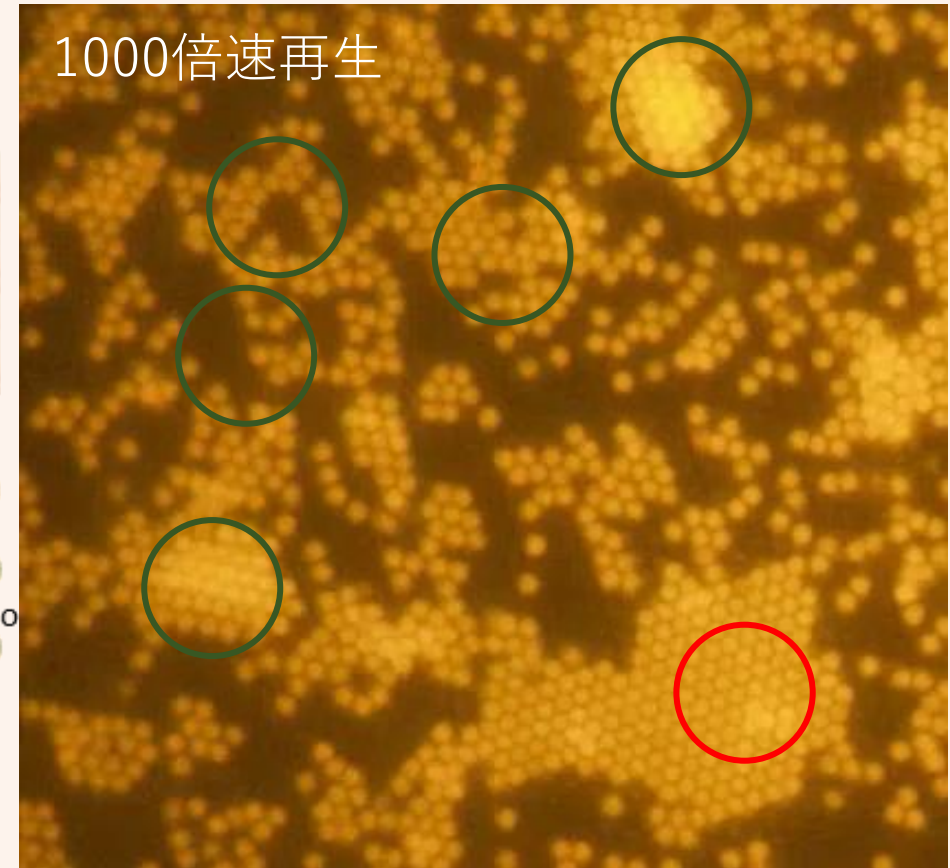


De Yoreo et al., Science 2015

コロイドへテロエピタキシャル成長における多形形成と多形転移



同じ粒径粒子（構成要素）
だが粒子間距離と構造が異なる



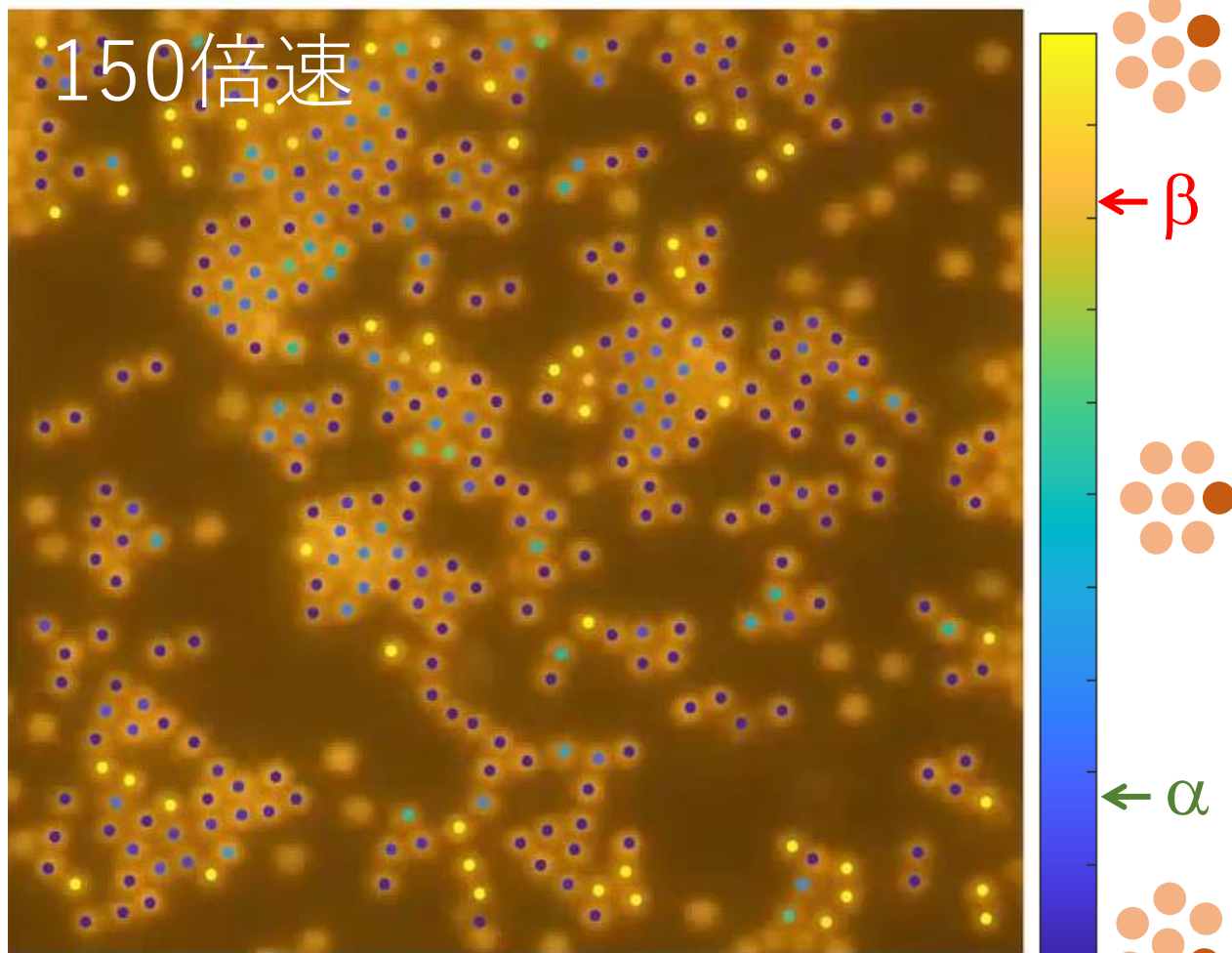
○ α -phase
○ β -phase

Substrate: 1000 nm
Epitaxial layer: 700 nm

多形転移を介在した非古典的核形成と成長挙動

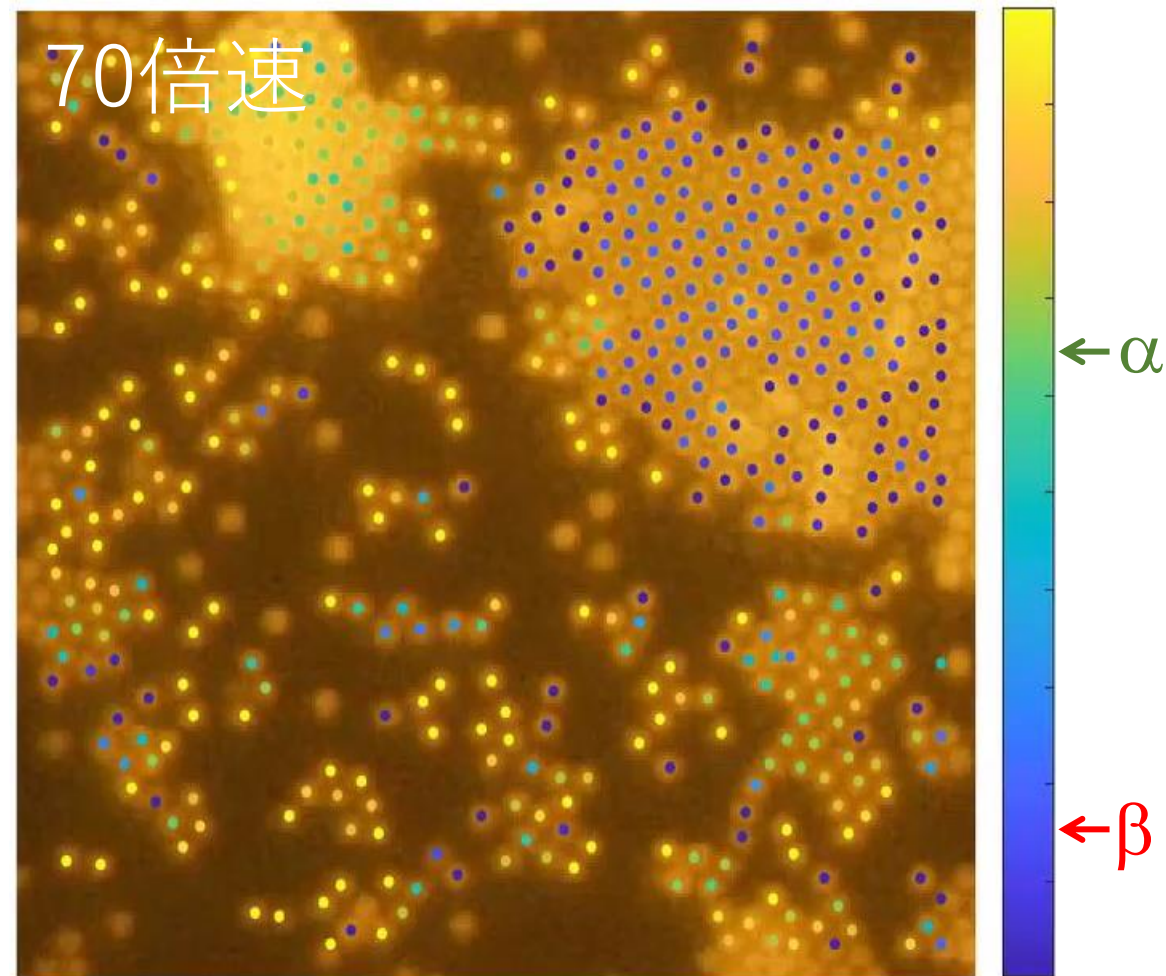
準安定相を経由した2段階核形成

150倍速

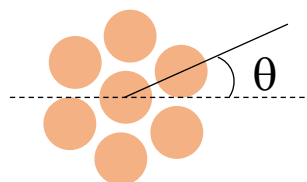


安定相による準安定相クラスターの溶解と取り込み

70倍速



中心間距離が粒径のおよそ1.5倍以下の粒子を隣接粒子として識別し、角度(θ)を測定



まとめ

- ・一方向凝固によりCdTe多結晶の育成に成功
- ・異種結晶基板を利用した2元系コロイド結晶育成の成功, またその基礎メカニズムを明らかにした

今後の計画

- ・種結晶を利用したCdTe多結晶粒の粗大化
- ・異種結晶基板を利用したバルク(3D)コロイド結晶育成と構造制御
- ・コロイドヘテロエピタキシャル成長のメカニズムの解明