新規2次元物質の単離法の開発
—究極的に薄い新たな機能性材料の開発を目指して

深谷有喜[1]，福谷克之[1,2]

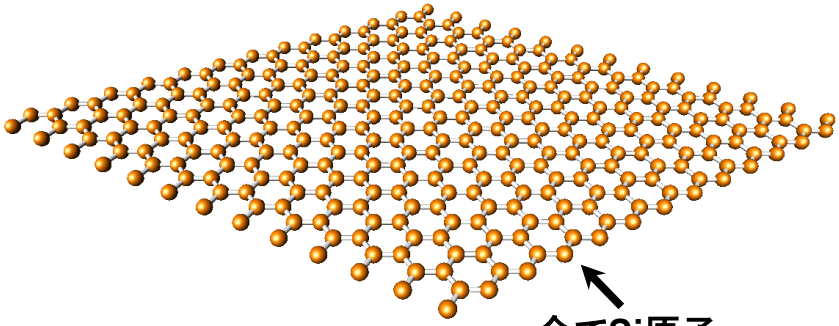
[1] 先端基礎研究センター　表面界面科学研究グループ
[2] 東京大学　生産技術研究所

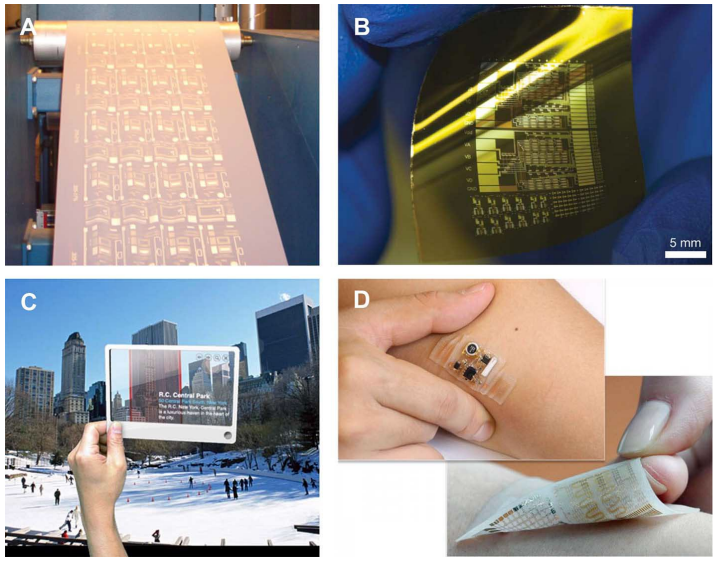
本研究の背景

シリセン（Silicene）

シリコンのシート状の物質

グラフェンのシリコン版





A. D. Franklin, Science 349, 2750 (2015)

ポストグラフェンの新素材

- 極めて高い電子移動度
- 極めて薄い物質（原子1個分の厚み）
- グラフェンを超える新奇スピン物性の発現

アウトカム

省エネ・高速・小型電子デバイスの素子として期待

課題

しかし，
自然界には存在しない材料

母材

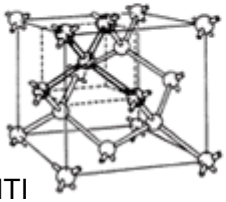
炭素

ウィキペディア

日経サイエンス

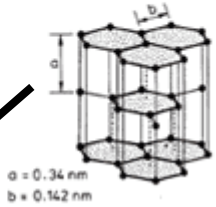
ダイヤモンド
炭素原子 sp^3 結合結晶

グラファイト
炭素原子 sp^2 結合結晶



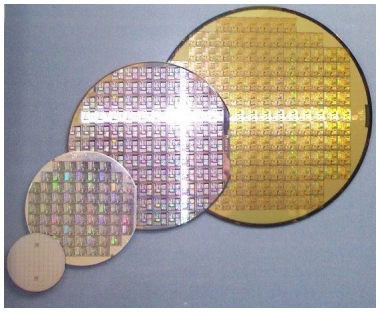
(株)NTI

一枚はがすと



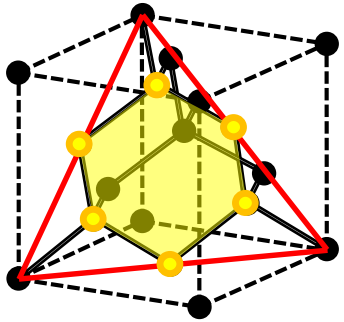
グラフェン

シリコン，ゲルマニウム



ウィキペディア

ダイヤモンド構造だけ



母材なし

シリセン合成の報告

PRL 108, 155501 (2012) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 13 APRIL 2012

Silicene: Compelling Experimental Evidence for Graphenelike Two-Dimensional Silicon

Patrick Vogt,[1,2,*] Paola De Padova,[3,†] Claudio Quaresima,[1] Jose Avila,[4] Emmanouil Frantzeskakis,[4] Maria Carmen Asensio,[4] Andrea Resta,[1] Bénédicte Ealet,[1] and Guy Le Lay[1,3]

Applied Physics Express 5 (2012) 045802
DOI: 10.1143/APEX.5.045802

Structure of Silicene Grown on Ag(111)

Chun-Liang Lin, Ryuichi Arafune[1], Kazuaki Kawahara[2], Noriyuki Tsukahara, Emi Minamitani[3], Yousoo Kim[3], Noriaki Takagi*, and Maki Kawai

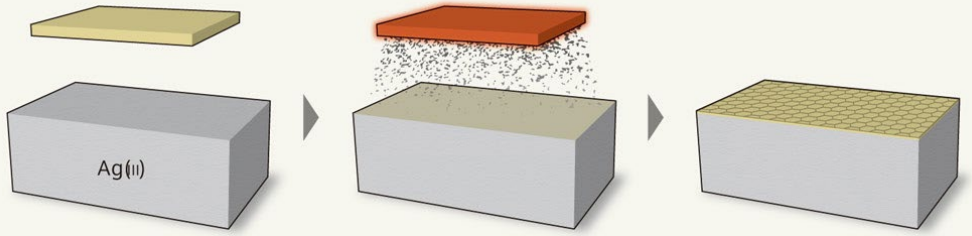
PRL 108, 245501 (2012) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 15 JUNE 2012

Experimental Evidence for Epitaxial Silicene on Diboride Thin Films

Antoine Fleurence,[1] Rainer Friedlein,[1] Taisuke Ozaki,[1,2] Hiroyuki Kawai,[1] Ying Wang,[1] and Yukiko Yamada-Takamura[1,*]

シリセンをつくる

シリセンは、原子 1 個分の厚さのケイ素（Si）シートであり、2010 年に初めて作製された。しかし、絶縁性の表面上にシリセンを成長させることに成功していないので、予測された特性の一部はまだ調べられていない。

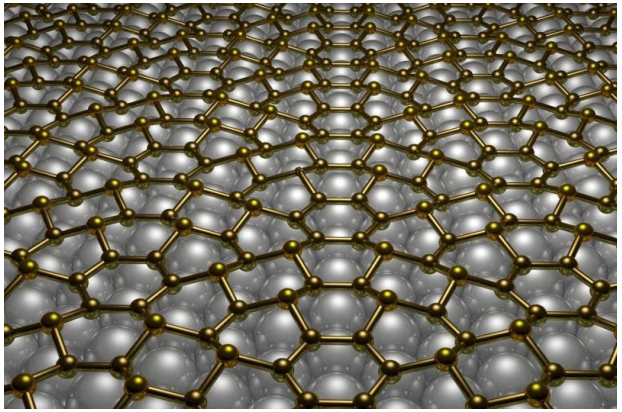


第 1 段階：真空中で Si ウエハーを銀（Ag）結晶の上にかざす。

第 2 段階：Si が昇華し始めるまで加熱する。

第 3 段階：Si 原子が Ag 表面上で自発的に組織化してシリセンを形成する。

Nature ダイジェスト 2013年6月号



G. Le Lay, US-EU Workshop on 2D Layered Materials and Devices, April 22-24, 2015

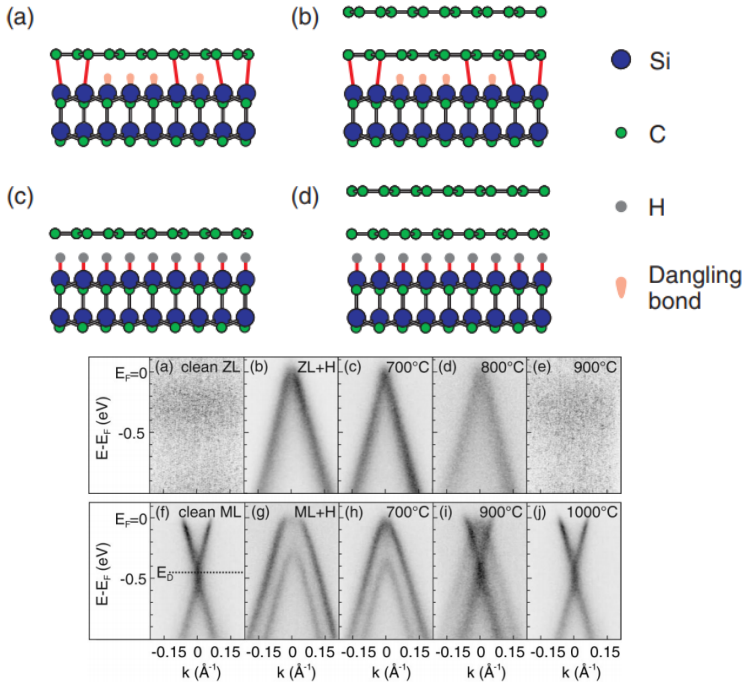
単離のための方策

① 水素の活用

PRL 103, 246804 (2009) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 11 DECEMBER 2009

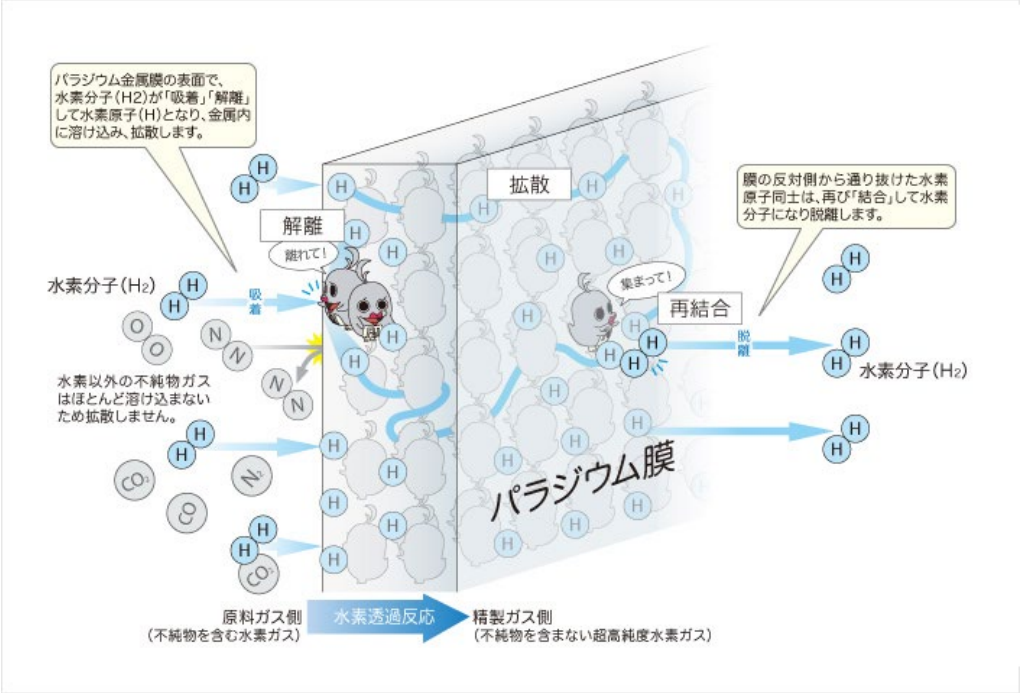
Quasi-Free-Standing Epitaxial Graphene on SiC Obtained by Hydrogen Intercalation

C. Riedl,[1] C. Coletti,[1] T. Iwasaki,[1] A. A. Zakharov,[2] and U. Starke[1,*]
[1]Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Heisenbergstr. 1, D-70569 Stuttgart, Germany
[2]MAX-Lab, Lund University, Box 118, Lund, S-22100, Sweden
(Received 8 October 2009; published 10 December 2009)



単離が可能

② パラジウムの活用



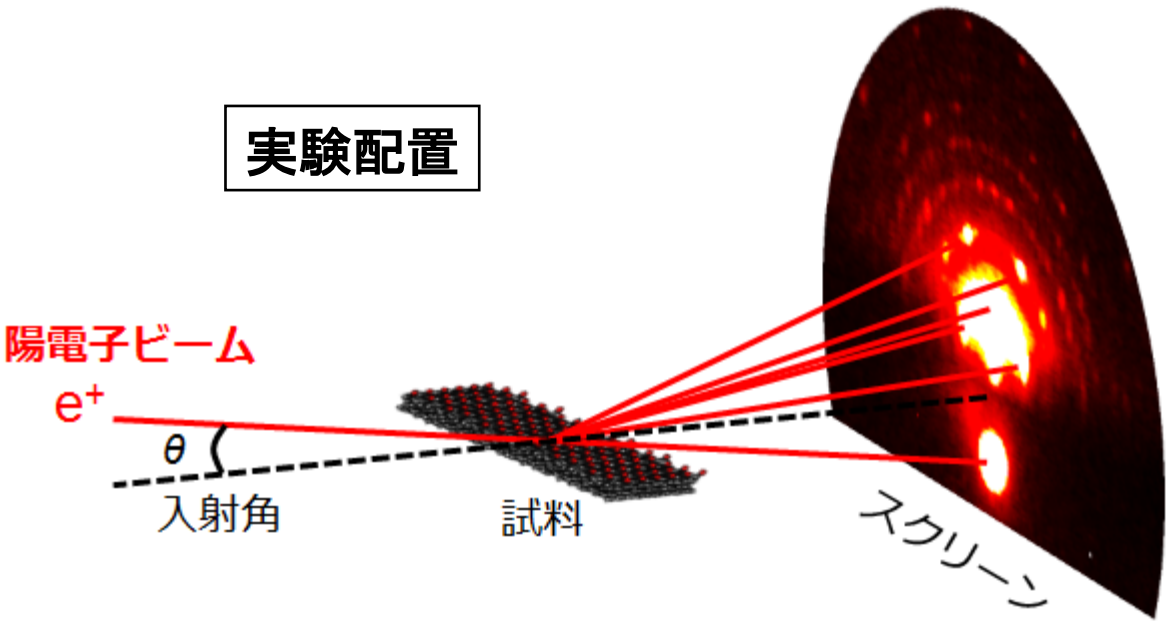
田中貴金属グループホームページより転載
https://tanaka-preciousmetals.com/jp/library/element/column03/

水素の出し入れが可能

基板側（裏）から水素を送り込める可能性

評価手法：陽電子回折

陽電子回折パターン

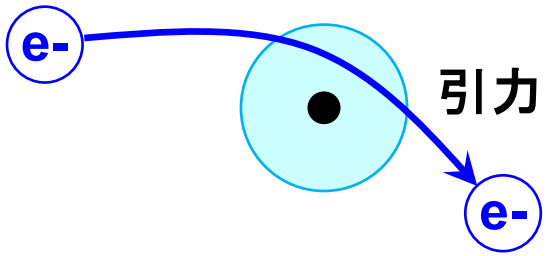


陽電子の侵入深さ
原子1個分（~2 Å）

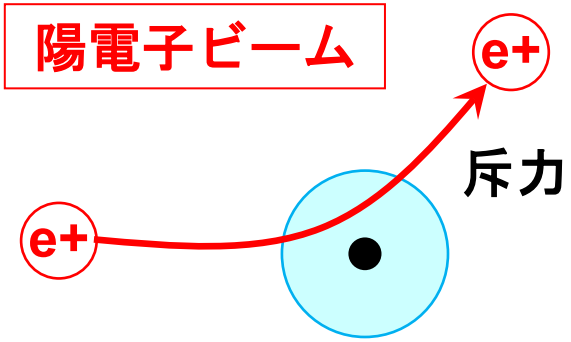
⇩

極めて高い表面敏感性

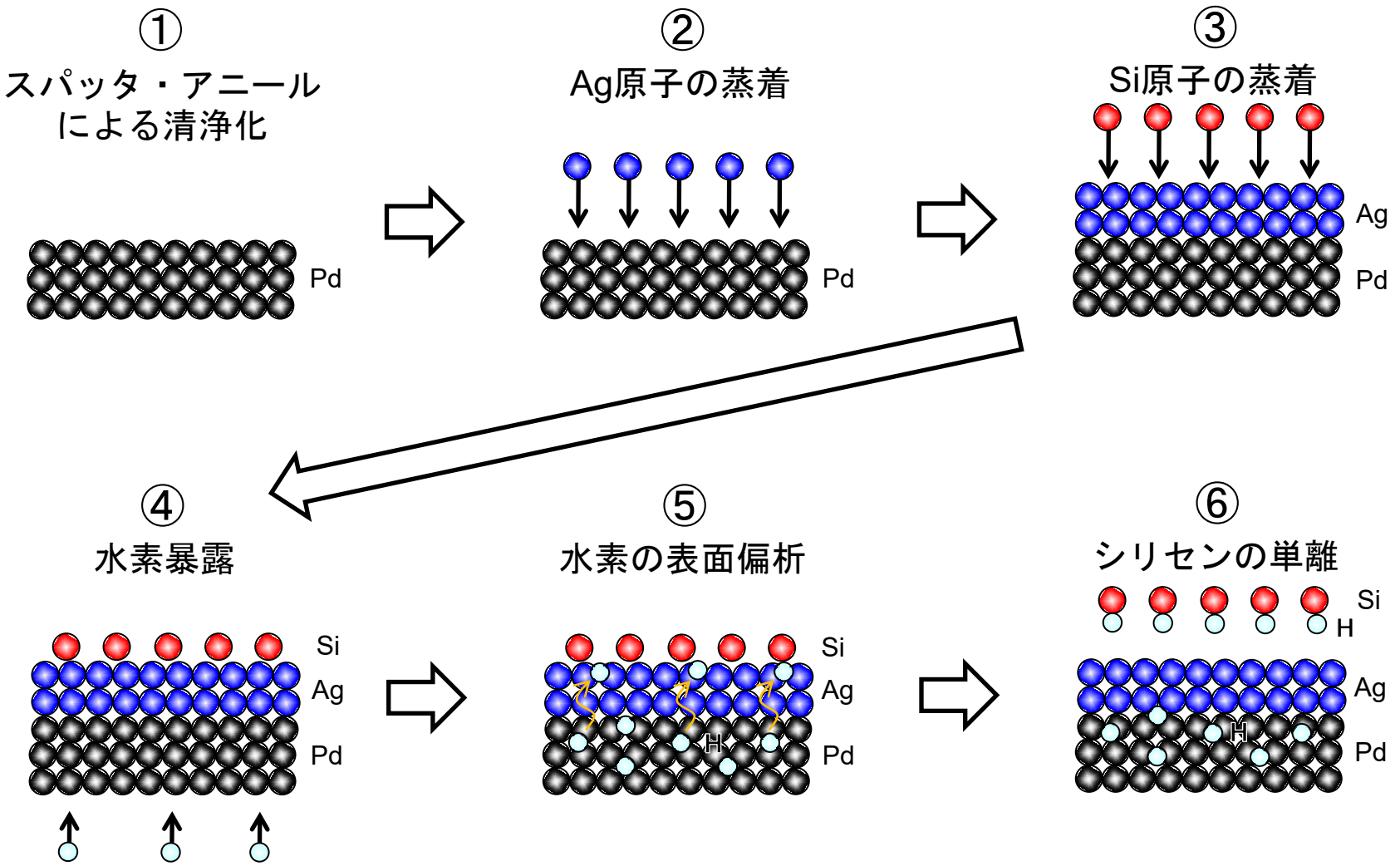
電子ビーム



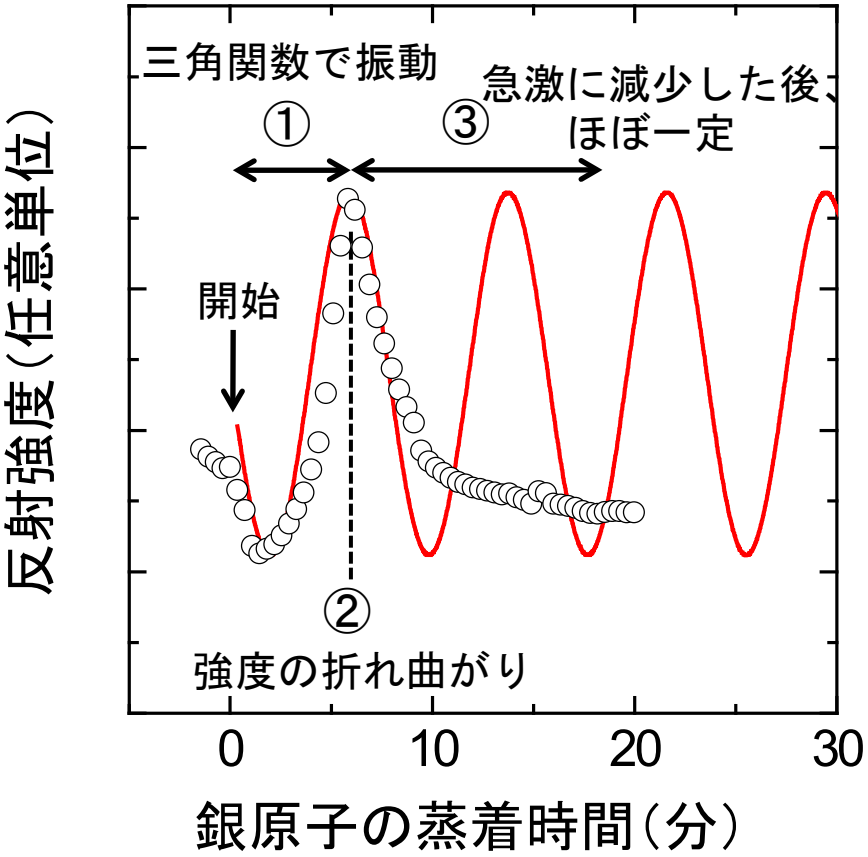
陽電子ビーム

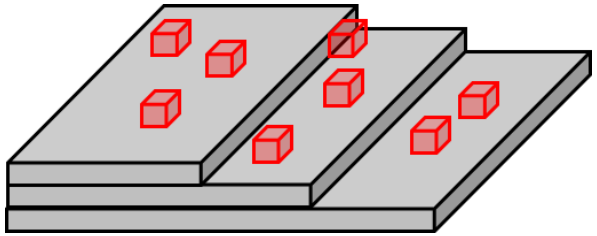


研究開発ステップ

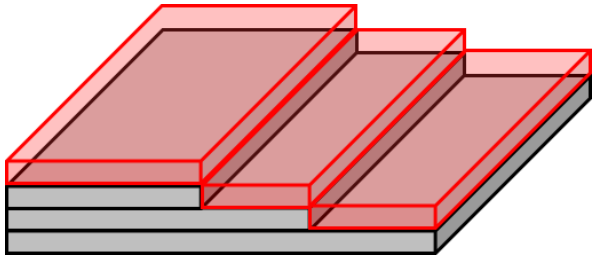

①
スパッタ・アニール
による清浄化
Pd
②
Ag原子の蒸着
Pd
③
Si原子の蒸着
Ag
Pd
④
水素暴露
Si
Ag
Pd
⑤
水素の表面偏析
Si
Ag
H
Pd
⑥
シリセンの単離
Si
H
Ag
H
Pd

結果①：銀薄膜の作製

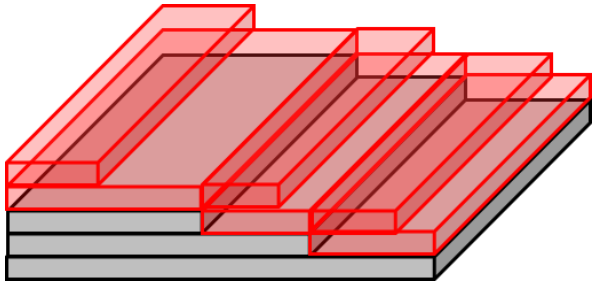




① パラジウム表面のテラス上に銀原子が吸着

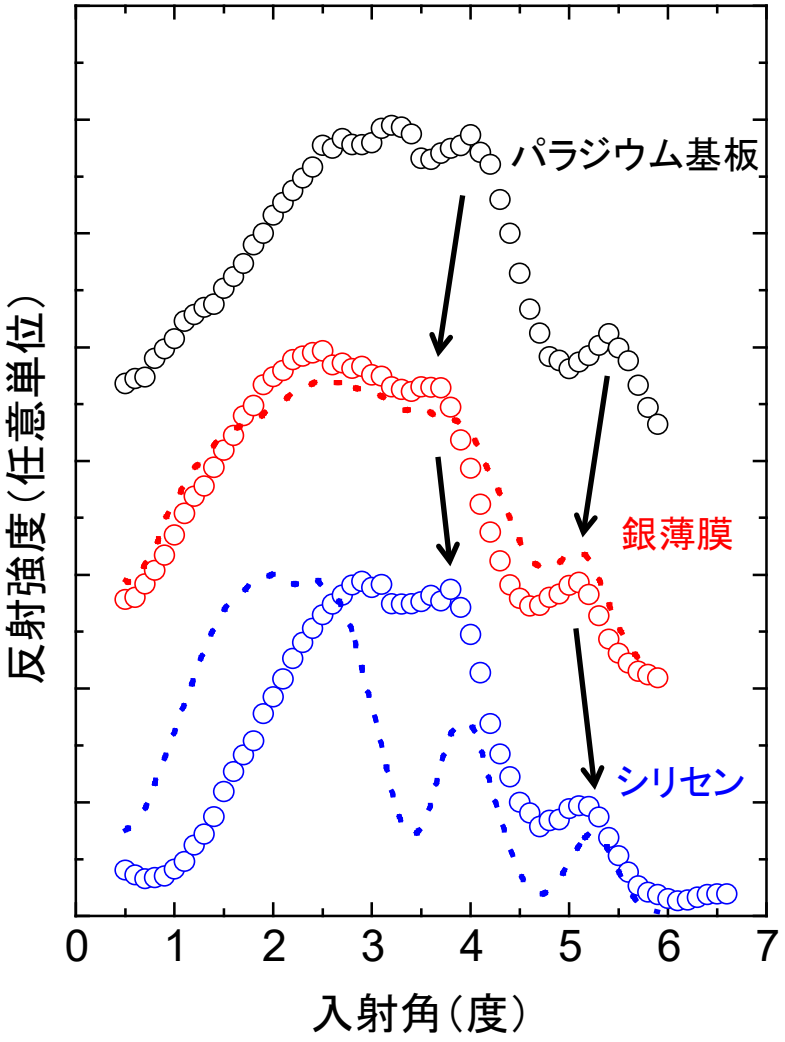


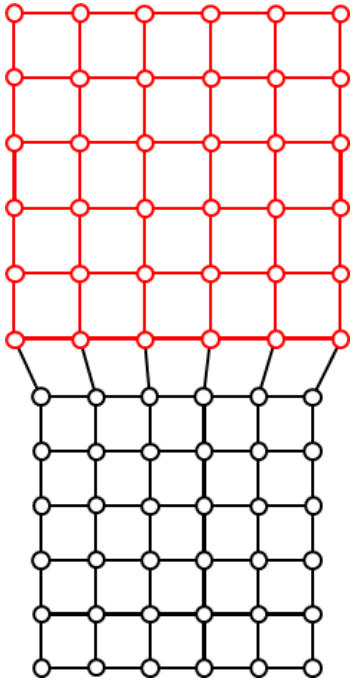
② 銀原子で完全に覆われる（単層Ag）



③ テラス構造を保ちながら銀原子が吸着

結果②：銀薄膜の結晶性の評価



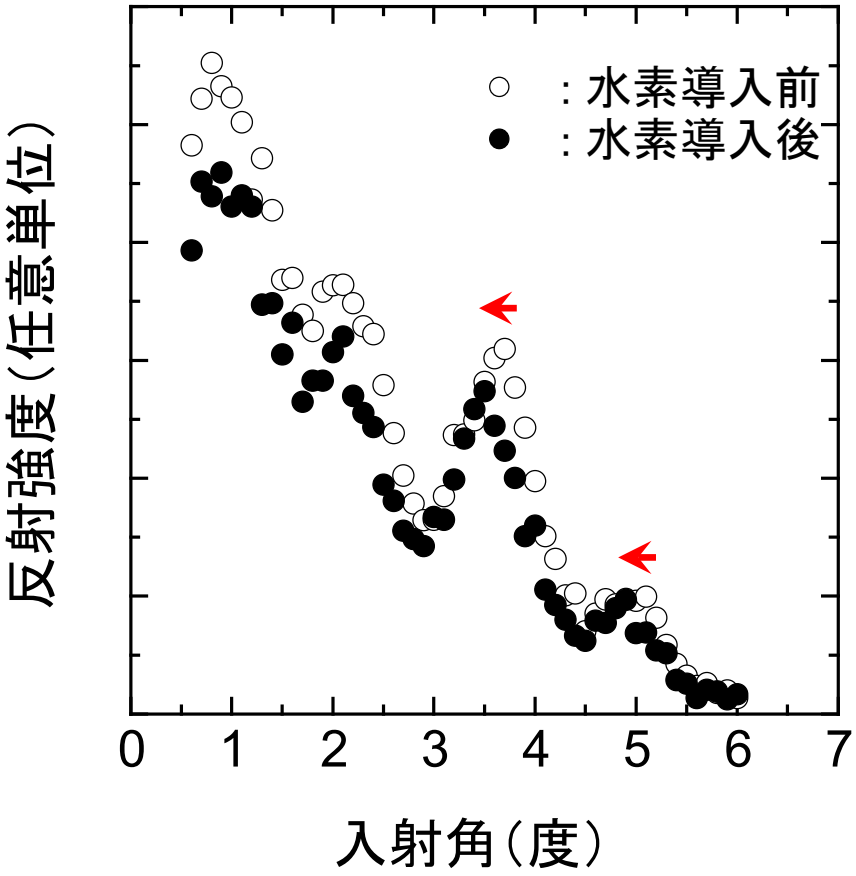


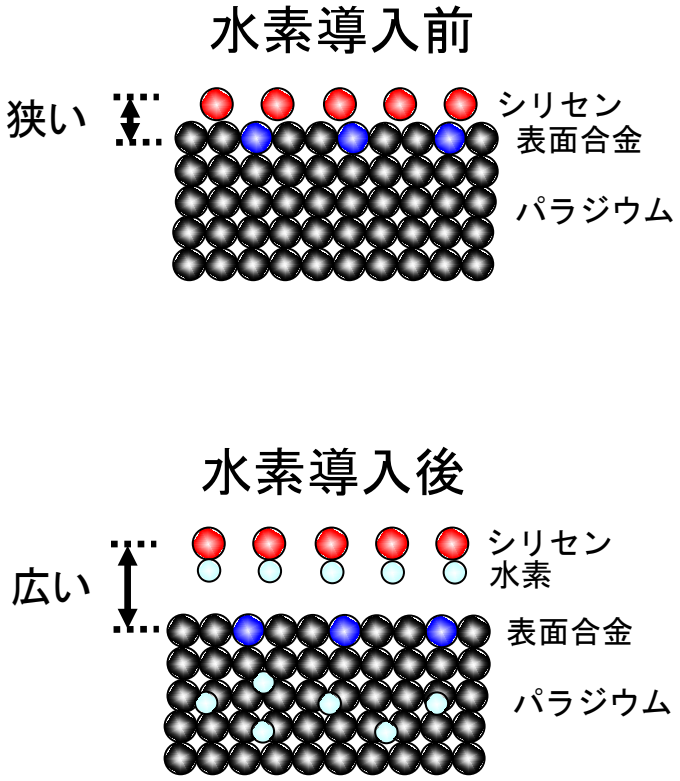
銀の格子定数
a = 4.09 Å

パラジウムの格子定数
a = 3.89 Å

シリセン作製にベストな銀薄膜の作製に成功

結果③:シリセンの単離





水素の表面偏析を利用することにより単離の兆候を得ることができた

新規2次元物質の単離法の開発
—究極的に薄い新たな機能性材料の開発を目指して

課題

- 部分的なシリセンの形成にとどまっている可能性

  細かな実験パラメータを調整することにより，シリセン形成のための最適な実験条件の探査

今後

- 現状では，他の研究テーマで採択済みもしくは申請済みの科研費補助金の課題が2件あるため，これらの採択状況を踏まえながら少し大型の科研費への応募を検討