

## 山梨県若手研究者奨励事業 研究成果概要書

所属機関名 千葉大学

職名・氏名 博士後期課程学生・梶野祐人



## 1 研究テーマ

基板表面構造による周期的ナノクーロン変調を用いた単原子層超格子

## 2 研究の目的

原子一個分の厚みを持つ単原子層物質(図 1)は、高い比表面積に起因して周囲の環境によってその性質を自由に制御することができる(図 2 参照)。従って、外部から空間的な周期変調を加えることで、超極薄半導体超格子(図 3)が形成され、それに由来した光物性現象の発現が期待される。しかし、このような超格子実現のために必要な、外部環境である基板と単原子層界面における相互作用は未だ十分に理解されていない。そこで本研究では、基板のナノ表面構造に起因した単原子層の物性制御機構を明らかにすると共に、周期的なクーロン変調を用いた単原子層横方向超格子の実証を目的とした。加えて、その超格子構造に由来した新規物性開拓にも着手した。

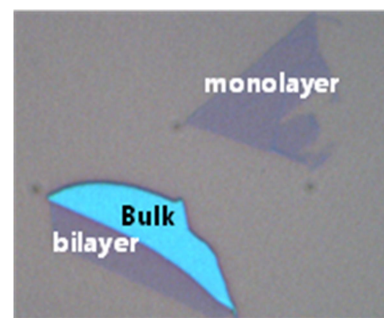


図 1 単層膜、二層膜、複数層膜の光学顕微鏡像

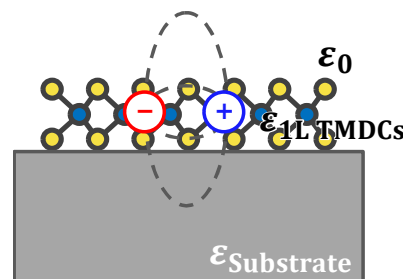


図 2 単原子層物質における電子-正孔間クーロン相互作用の模式図。電気力線(破線)が単層外部に飛び出すため、周囲の誘電率によりクーロン力の制御が可能。

## 3 研究の方法

本研究では、単原子層超格子実現のために必要となる、基板誘電率や表面の終端状態、ラフネスなどによる単原子層の光学特性の自在な制御手法を確立し、表面ナノ構造基板を用いた超格子構造を実証する。そのため、以下の三項目について研究を行った。

## 3.1 基板構造に依存した光学特性変化の物理的な起源解明

基板の誘電率、表面の凹凸構造や終端状態に由来した単原子層における光学特性変化

## 留意事項

- ① 3枚程度で作成してください。
- ② 特許の出願中等の理由により、一定期間公表を見合わせる必要がある箇所がある場合であっても、所定の期日までに公表可能な範囲で作成・提出してください。当該箇所については、後日公表可能となった際に追記して再提出してください。

の起源を解明する。そのため、極低温下での測定や時間分解計測と組み合わせた空間分解分光測定を行った。

### 3.2 表面ナノ構造基板を用いた単原子層超格子の作製

基板表面構造を利用して単層膜への周期的なポテンシャル変調を形成する。そのため、複数の手法による表面ナノ構造の作製を行うと同時に、表面形状を評価した。また、変調周期や遮蔽効果の大きさに起因したバンドギャップ再構成によって井戸層と障壁層のポテンシャルを自在に制御することで、単原子層超格子の実現を試みた。

### 3.3 周期的ナノクローン変調によるミニバンド形成の実証

上記で確立した技術や知見を基に、クローン遮蔽効果を用いた面内方向へのナノ周期ポテンシャル：横方向超格子構造(図 3)を作製し、単原子層における超格子構造特有の光物理(ミニバンド形成やブロッホ振動など)の研究に取り組んだ。

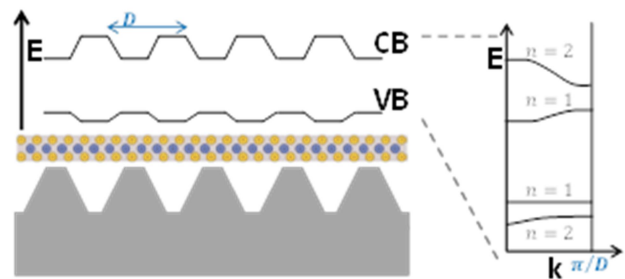


図3 周期 $D$ の凹凸を持つ表面ナノ構造基板上単原子層の局所的なバンド変調による横方向の超格子構造及びミニバンド(右図)。

## 4 研究の成果

4.1 基板表面ラフネス形状の違いに起因して単原子層における非線形緩和ダイナミクスが著しく変化することを観測し、その起源を基板表面の凹凸構造に由来した単原子層物質の空間的にランダムなポテンシャル変動であると推測した。また、表面ラフネスを原子レベルで制御した基板上に単原子層を作製することで、従来とは異なる非線形緩和ダイナミクスが現れることを発見した。この特徴的な緩和ダイナミクスについて、新しいモデルによってその現象を良く再現し、周期的なポテンシャル変動がその要因であると推定した。

4.2 表面構造の変調周期の異なる基板について、高い空間分解能で試料表面トポグラフィを測定可能な原子間力顕微鏡を用いて、その形状を 0.1 nm オーダーの高い精度で評価した。精度良く評価された周期構造を持つ基板上に単原子層を作製し光学特性変化から超格子構造の実証を試みたが、十分な結果は得られなかった。数値計算による予測と比較すると、超格子構造が実現できていない原因として周期間隔が長いことが考えられる。より短い周期での空間変調を可能にするためには、試料構造の更なる改善もしくは別の手段の開発が必要不可欠である。

4.3 4.2 同様に、超格子構造特有の光物理については観測できなかった。そのため、前述したような超格子実現に向けた取り組みを進めると共に、試料の周期構造に応答する分光測定(例えば、直線偏光分解測定や表面プラズモン増強など)による試料構造の評価を並

### 留意事項

- ① 3枚程度で作成してください。
- ② 特許の出願中等の理由により、一定期間公表を見合わせる必要がある箇所がある場合であっても、所定の期日までに公表可能な範囲で作成・提出してください。当該箇所については、後日公表可能となった際に追記して再提出してください。

行して行い、周期構造基板上の単原子層における物性変化についての知見を深めていく。

## 5 今後の展望

本研究において、基板表面と単原子層界面のラフネスの大きさやランダム性に起因した物性変化が明らかになった。しかしながら、超格子構造が実現するようなナノメートルオーダーの周期変調を単原子層に印加することはできていない。今後は、複数の顕微分光手法と組み合わせた試料構造の評価と同時に、異なる基板材料や周期構造作製手法等について検討していく。

## 6 研究成果の発信方法（予定を含む）

本研究の成果は、arXiv(2010.07658)に投稿し、国際学術誌において現在査読中である。また、研究室 HP にて研究成果を公表すると共に、今後の研究成果と合わせ国内外の学術会議での発表を行う予定である。

## 留意事項

- ① 3枚程度で作成してください。
- ② 特許の出願中等の理由により、一定期間公表を見合わせる必要がある箇所がある場合であっても、所定の期日までに公表可能な範囲で作成・提出してください。当該箇所については、後日公表可能となった際に追記して再提出してください。