

史上初の有機二次元トポロジカル絶縁体「ジチオレンナノシート」

の創製

東京大学大学院理学系研究科化学専攻
坂本 良太

1. 研究目的

「トポロジカル絶縁体」(Topological Insulator, 以下TI)は2005年にその存在が初めて予測され、以降TIの実在の追究が急激に活発化している。現状では、TIの例は無機物に限定される。TlBiSe₂は三次元TIの代表例であり、似た金属カルコゲニドが十数種報告されている。一方で二次元TIはよりレアであり無機物が3例報告されるのみである。例えばInAs/GaSbからなる量子井戸、およびBi₂Te₃上のBi二原子層が挙げられる。二次元TIは電子デバイスの劇的な省電力化・次世代型スピントロニクスの実現など、パラダイムシフト級の応用展開が期待されている。申請者が発表した「ジチオレンナノシート」(図1, *JACS* 2013, 2462; *JACS* 2014, 14357)が二次元TIとして振る舞うことが理論的に予測された(*Nano Lett.* 2013, 2842)。本研究では史上初となる有機系二次元トポロジカル絶縁体の実証を目指した。

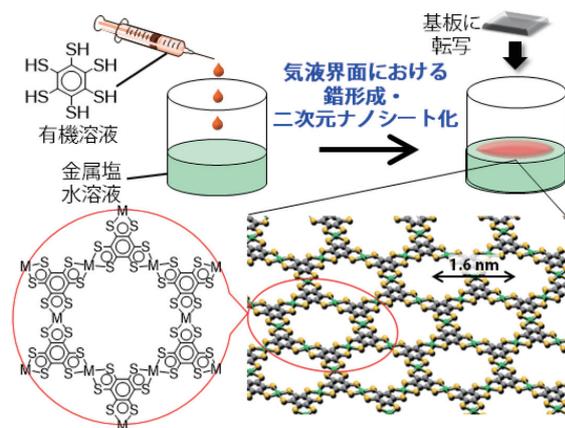


図1 ジチオレン金属錯体ナノシートの気液界面合成法と構造 (M = Ni).

2. 成果

(1) 配位子の変更 有機配位子・金属イオンから構築される「ボトムアップ型」ナノシートの利点は豊富なバリエーションが実現できる点にある。バリエーションの増強とし

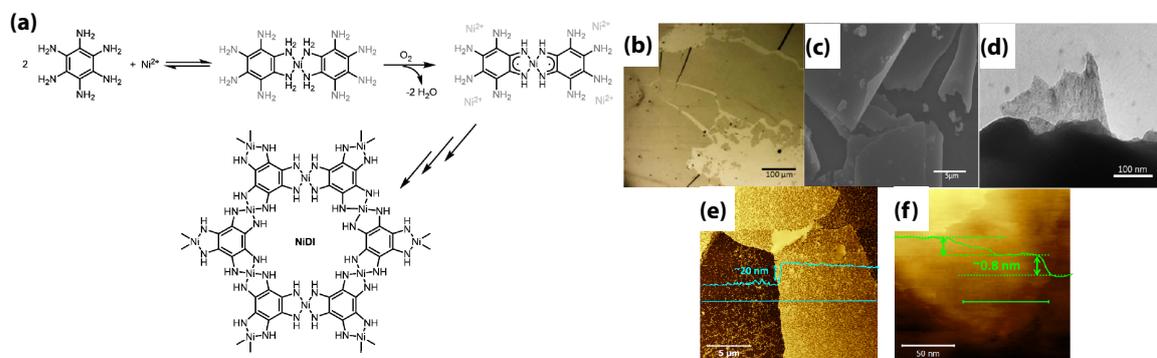


図2 (a) ジイミンニッケル錯体ナノシートの構造. (b) ナノシート積層体の光学顕微鏡像. (c) SEM 像. (d) TEM 像. (e) AFM 像. (f) 数層ナノシートのAFM 像.

て、ジチオレン錯体と等電子構造を取るジイミン錯体ナノシートを設計・合成した (図 2)。本ナノシートは、既知のヘキサアミノベンゼンとニッケルイオンから合成される (図 2a)。得られたナノシート積層体は各種顕微鏡測定からシート構造を有することが確認された (図 2b-e)。また、0.8 nm のステップが確認され、単層または二層ナノシートも生成したことがわかる (図 2f)。

(2) 中心金属の変更 同様にバリエーションの拡張として、中心金属 (図 1 の M) の変更にも取り組んだ。図 3 には白金を導入した結果を示した。重元素である白金を導入することで、二次元 TI がより顕著に現れると期待される。原子間力顕微鏡 (AFM)、透過電子顕微鏡 (TEM) でいずれもシート状の構造体が観測され、ナノシートの積層体に帰属される。また、TEM の制限視野電子回折 (TEM/SAED) にて六角形の回折パターンが観測され、結晶性が示された。現状では厚さ 1.2 nm のシートが得られており、二原子層に相当する。

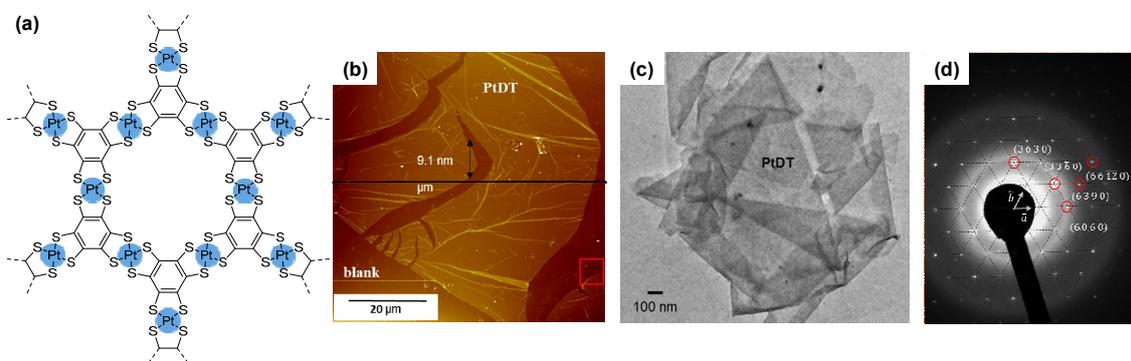


図 3 (a) ジチオレン白金錯体ナノシートの構造. (b) ナノシート積層体の AFM 像. (c) TEM 像. (d) TEM/SAED.

(3) 新たな有機ナノシート 新たな二次元 TI 候補として、グラフェンの同素体であるグラフィジン (図 4) に着目した。新たな合成法を開発し、厚さ 3 nm、サイズ 1-2 μm の単結晶ドメインの作製に成功した。

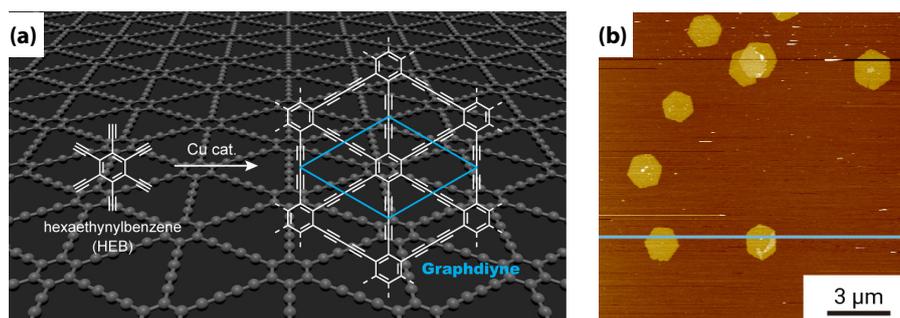


図 4 (a) グラフィジンの構造. (b) グラフィジン単結晶ドメインの AFM 像.

3. 今後の展望

得られたナノシートに関して、走査トンネル分光による二次元 TI に特徴的なエッジ電子構造の観察、角度分解光電子分光による二次元 TI バンド構造の実測、量子スピンホール伝導の観測など、本ナノシートが二次元 TI であることの実験的実証を行う。