

光励起多探針技術の開発と原子層半導体におけるダイナミクス評価への応用

Development of laser combined multi-probe technique and
application to dynamics analysis in atomic layered semiconductors

○茂木 裕幸 (筑波大学)

Hiroyuki Mogi (Univ. of Tsukuba)

近年、グラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDCs)系層状物質等に代表される低次元物質が注目される。特に MoS_2 や WSe_2 等、TMDCs 半導体の一種は高い移動度を持つこと、また単層での直線遷移型のバンド構造や、室温安定な励起子効果に由来する強い光-物質相互作用等が特徴的である。今後、単一分子層厚の光電子デバイスへの応用が期待され、ナノスケールにおける電子状態解析や光伝導特性の計測・光キャリアダイナミクス計測が益々重要になる。

しかし、一般的な光技術では、nm スケールの空間分解能で特性を計測することは容易ではない。また、光電子特性を計測するためには新たに電極配線することでデバイス構造を形成する必要がある。これらの制約を克服するために有効な手法として、本発表では、光技術・多探針計測技術・プローブ顕微鏡技術の3つを組み合わせた光励起マルチプローブ SPM を開発して得た結果について発表する。原子層材料において、探針接触により任意位置で繰り返し伝導計測ができる多探針計測技術と組み合わせることが考えられる。表面付着物などにより敏感に特性が変化するため、同一の清浄環境で配線や局所光伝導計測を行うことが望ましく、多探針の存在が大きな利点となる。

測定系開発により、世界で初めて多探針測定系により光電流計測^{1,2)}や超高速領域を含めた励起子のナノスケール時空間分解計測に成功した³⁾。図1に装置の概略図を示す。超高真空($\sim 10^{-8}$ Pa)環境中で試料と最大4つまでの STM/AFM/接触探針を搭載可能であり、最低到達温度は 10 K 程度である。上部の対物レンズを介して探針・試料配置観察と先端部に安定した光照射を行うことが可能となっている。

測定セットアップ概略図と結果の一例を図2に示す。励起子は探針誘起電場によって解離され、トンネル電流として検出される。このメカニズムに基づいて、改良された光ポンプ・プローブ法をいくつかの種類のナノスケール構造に適用した結果、ドメイン境界やシワ構造等における特徴的な励起子ダイナミクスを得ることに成功した。この手法により、励起子ダイナミクスの研究や、ナノスケールでの実験結果の解析に基づく応用開発が加速されることが期待される。詳細や他の測定応用例についても、関連す

る光励起マルチプローブ技術とともに紹介する。

参考文献

- 1) H.Mogi *et al Appl. Phys. Express* **12**, 045002 (2019)
- 2) H. Mogi *et al, NPJ 2D Mater. Appl.*, **6**, 72 (2022)
- 3) H. Mogi *et al, Jpn. J. Appl. Phys.* **61**, SL1011 (2022)

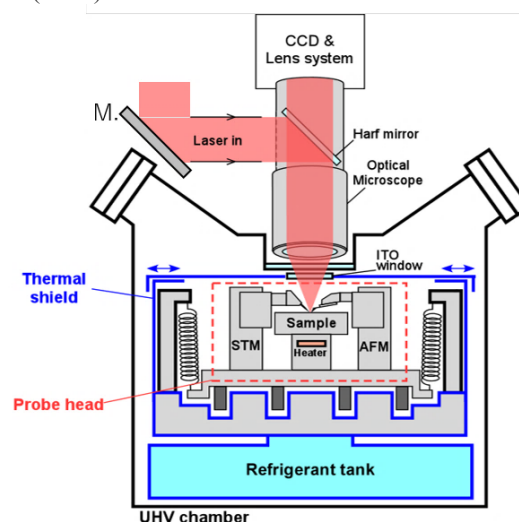


図1 光励起マルチプローブ装置概略図

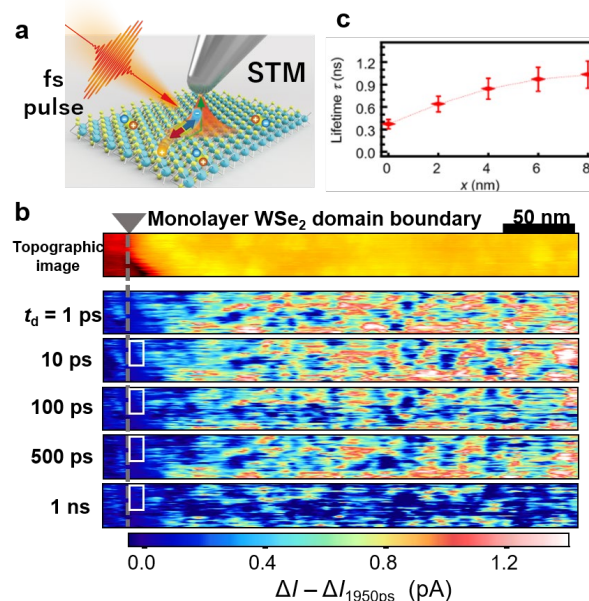


図2 a. ナノスケール励起子計測概略図,
b. c ドメイン境界におけるナノスケール励起子ダイナミクス空間分解計測結果