

## 金極薄膜を用いた単層 h-BN の可視化

### Visualization of a h-BN monolayer using an ultra-thin gold film

神戸大院工<sup>1</sup>, 物材機構<sup>2</sup> ○服部 吉晃<sup>1</sup>, 谷口 尚<sup>2</sup>, 渡邊 賢司<sup>2</sup>, 北村 雅季<sup>1</sup>

Kobe Univ.<sup>1</sup>, NIMS<sup>2</sup> ○Yoshiaki Hattori<sup>1</sup>, Takashi Taniguchi<sup>2</sup>, Kenji Watanabe<sup>2</sup>, Masatoshi Kitamura<sup>1</sup>

E-mail: hattori@eedept.kobe-u.ac.jp

六方晶ボロンナイトライド(h-BN)は層状物質を用いた二次元複層化デバイスに最適な絶縁材料であると認識されている。一方で、絶縁体ゆえバンドギャップが大きく、可視光域で光学的に透明であるため、極薄膜の層状材料を簡便に可視化する手法として広く行われている、熱酸化シリコン基板の干渉効果を利用して数層の h-BN を光学顕微鏡で認知し、利用するのは難しい。さらに、h-BN をトンネル絶縁膜として用いた応用研究においては、金属電極の上に数層の h-BN が積層されるが、一般的に金属の反射率は大きいため、可視性がさらに低下する。本研究では光が透過するような薄い Au 薄膜上に数層の h-BN が置かれた場合の可視性を検討した。

画像上の極薄膜のコントラストは基板の反射率の変化率が大きいほど高くなる。図 1 に 94 nm の SiO<sub>2</sub> を有するシリコン基板に 0.5 nm の Cr と厚さの異なる Au 薄膜を蒸着し、単層の h-BN を NA = 0.8 の対物レンズで観察した場合のコントラストを計算した結果を示す。Au 上のコントラストは Au 薄膜がない 0 nm のときより増加し、5–7 nm の Au 薄膜では特定の波長でコントラストが増強されることが分かる。実験的にこれらを検証するため、熱酸化シリコン基板の一部に 12 nm の Au 薄膜を蒸着し、その境界に 4 層の h-BN フレークを積層した(図 2 上段)。様々な波長のナローバンドパスフィルタを用いて観察すると、Au 上の h-BN は 490 nm, SiO<sub>2</sub> の上では 580 nm の光で観察したとき最もコントラストが上昇した。図 2 の中段と下段にカラーカメラで同じフレークを異なる波長で撮影したそれらの写真を示す。これらの Au 膜厚と観察波長の関係は図 1 における負側のコントラストの極大値とそれぞれ一致し、写真では Au 上の h-BN の方が明らかに認知しやすい。図 3 に 7 nm の Au 薄膜に置かれた 1–3 層の h-BN をモノクロカメラで撮影したコントラストを示す。得られた実験結果は数値計算とよく一致し、480 nm の単層のコントラストは過去に報告された Au 薄膜がない場合の値より大きい[1]。図 3 の挿絵は一般的な 8 ビットのカラーカメラで単層の h-BN を撮影した写真の生データである。画像処理を行わなくとも単層の h-BN が認知できる。本実験で用いた Au 薄膜は電気的にもバルクと同程度の導電性があり、電極としても利用ができる[2]。また、本手法はこれまでに報告されている積層技術にも応用が可能である。

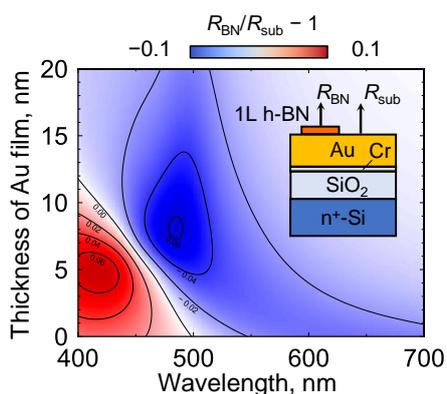


Fig. 1 Calculation of contrast of 1L h-BN on gold film for NA = 0.8.

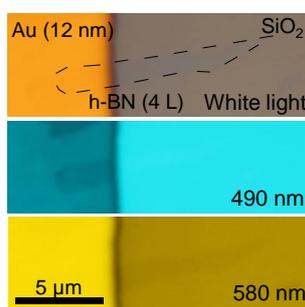


Fig. 2 Optical images of 4L h-BN for white light, 490 nm, and 580 nm.

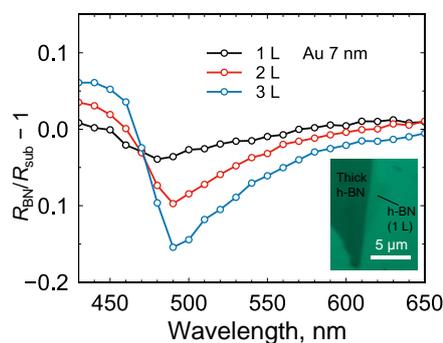


Fig. 3 Experimental contrast of 1–3L h-BN.

【謝辞】本研究の一部は文科省卓越研究員事業、JSPS 科研費 (19H02171, 21K04195, 21H04655)、関西エネルギー・リサイクル科学研究振興財団の助成を受けて遂行された。

【参考文献】 [1] R. V. Gorbachev, *et al.*, *Small*, **7**, 465 (2011). [2] Y. Hattori, *et al.*, *Nanotechnology*, **33**(6), 065702 (2021).