

# 原子層スケールでみたグラフェン/ニッケル界面の電子スピン状態

境 誠司\*, 松本吉弘\*\*\*, 圓谷志郎\*, 檜本 洋\*, 小出明広\*\*\*, 藤川高志\*\*\*, 山内 泰\*\*\*\*, 雨宮健太\*\*\*\*\*  
 (\*原子力機構先端セ, \*\*総合科学機構, \*\*\*千葉大院融合科学, \*\*\*\*物材機構, \*\*\*\*\*高エネ研物構研)

Electronic spin states of graphene/nickel interface investigated at atomic-layer scale

S. Sakai, Y. Matsumoto, S. Entani, H. Naramoto, A. Koide, T. Fujikawa, Y. Yamauchi, K. Amemiya  
 (JAEA, CROSS, Chiba Univ., NIMS, KEK)

## はじめに

グラフェンは、スピンデバイスの高度化を拓く長距離スピン輸送材料や分子性材料をスピントロニクスに用いるためのベース材料として注目されている。グラフェン基デバイスの研究では、グラフェンへのスピン流の導入やグラフェン内のスピン流の操作を効率的に行うスピン流制御技術の実現が課題である。グラフェンのスピン輸送材料としての利点であるスピン軌道相互作用の小ささや強い磁性を示さないことは、同時にスピン流の制御には工夫が必要であることを意味する。グラフェンでは全原子が表面(界面)に曝されることから、効率的スピン流制御の実現にはグラフェンと磁性材料等との界面スピン物性の活用が鍵になるであろう。

本研究では、界面スピン物性の活用に向けた基盤的知見を得るため、グラフェン基デバイスの基本構造であるグラフェン/磁性金属界面の電子スピン状態を、原子層スケールの深さ分解能を有する深さ分解 X 線磁気円二色性(XMCD)分光[1]と三重項励起状態のスピン偏極 He 原子が物質最表面と相互作用して生じるスピン選択的脱励起過程を利用した表面スピン検出法(スピン偏極準安定脱励起分光法, SPMDS)[2]を用いて調べた。

## 実験方法

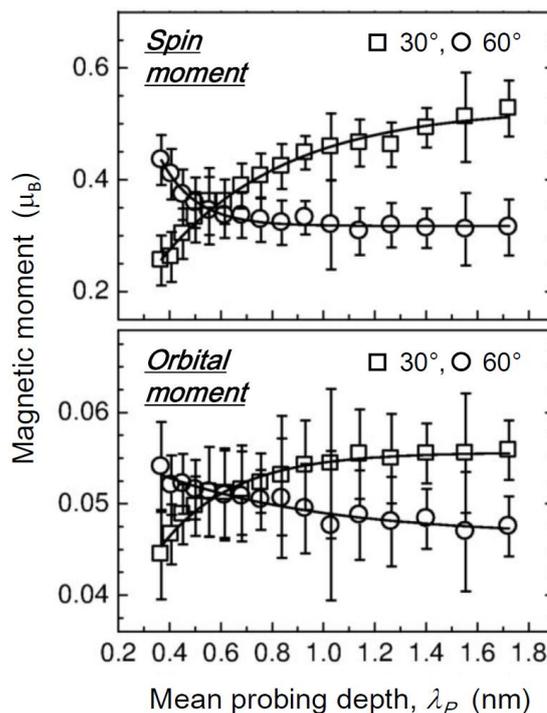
超高真空中で 600°C に保持した単結晶状の Ni(111) 薄膜(厚さ: 30 nm) にベンゼンガス(前駆体)を曝露して、厚さが一原子層のグラフェン(単層グラフェン, SLG)が Ni(111) 表面を完全に被覆するようにエピタキシャル成長した SLG/Ni(111) 薄膜の試料を作製した。深さ分解 XMCD 分光及び SPMDS の測定は、作製した試料を超高真空中に保持したまま行った。

## 実験結果

深さ分解 XMCD 分光[3]の結果、SLG/Ni(111) 界面から数原子層の領域で、Ni 薄膜の容易磁化方向が面内から面直方向に変化することが明らかになった(Fig.1)。また、界面の Ni 原子の磁気モーメントは結晶内部より 20% ほど減少した。一方、SLG は、界面の Ni 原子層との相互作用により伝導に関与する  $\pi$  バンドの電子状態が変化し交換結合が生じること、スピン軌道相互作用の増大が生じることが分かった。さらに SPMDS の結果[4]、SLG はフェルミレベルにおいて Ni と逆符号のスピン偏極を持つことも明らかになった。本研究で明らかになった磁性金属との界面に特有な電子スピン状態は、磁性電極からのスピン注入効率やナノ構造磁性体の磁気異方性に影響を及ぼすことが考えられ、グラフェン基デバイスの特性制御や機能設計への活用が期待される。

## 参考文献

- 1) K. Amemiya, Phys. Chem. Chem. Phys. **14**, 10477 (2012). 2) Y. Yamauchi *et al.*, Appl. Surf. Sci. **169-170**, 236 (2001). 3) Y. Matsumoto *et al.*, J. Mater. Chem. C **1**, 5533 (2013). 4) S. Entani *et al.*, Carbon **61**, 134 (2013).



**Fig.1** Mean probing depth,  $\lambda_p$ , dependences of the effective spin and orbital magnetic moments in the directions of 30° and 60° to the sample surface. Preferable orientations of the moments change from in-plane to out-of-plane as can be deduced from the relative magnitude change in the region of a few Ni atomic layers from the interface ( $\lambda_p < 1$  nm).