

# 陽電子回折で明らかにする 2次元超伝導体の構造

SATテクノロジー・ショーケース2019

## ■ はじめに

今日、様々な電子部品の小型・軽量化が進み、携帯可能なデバイスが続々と実用化されている。この背景の一つに半導体デバイスの薄膜化が挙げられる。薄膜化の極限とも言える物質表面(2次元系)における物性研究は盛んに行われ、その次元性に由来する新奇物性が数多く報告され注目を集めてきた。一方で、物質表面の構造解析は非常に難しく、その理由として一般的に原子配列のプロブに用いられる電子線やX線が結晶内部に侵入してしまうことが挙げられる。この問題を本質的に解決した手法が全反射高速陽電子回折(TRHEPD, トレプト)である。

TRHEPDは反射高速電子回折(RHEED)の陽電子版である。全ての物質の内部の静電ポテンシャルは正であるために、ある臨界面角  $\theta_c$  以下の視射角で入射した陽電子は全反射される。このとき得られる回折パターンは最表面の原子配列のみに由来しているため、解析すれば表面原子の配列が得られる。また、臨界面角  $\theta_c$  より大きな視射角で入射すると結晶内に侵入するが、その際、表面に近づく向きに屈折するので、表面直下の原子配列が分かる。

この特長を活かして、触媒表面や、グラフェン、シリセン、ゲルマネンなどの2次元原子層物質の構造解析に威力を発揮している[1,2]。ここでは、超伝導を示すことで知られているSiC(0001)上のCaインターカレート2層グラフェン[3]の構造をTRHEPDで解析し、これまで考えられていたもの[4]とは異なる構造であることを明らかにした[5]。

## ■ 背景

近年、グラフェンに超伝導特性を導入する研究が盛んに行われ、金属原子を層間に挿入すること(グラフェン層間化合物)でこれに成功したという報告例が数件ある[3,6]。中でもCaインターカレート2層グラフェンは唯一、電気伝導測定から抵抗ゼロが観測され( $T_{\text{onset}} = 4\text{K}$ )、超伝導発現機構はバルクのグラファイト層間化合物(GIC)のアナロジーを元に議論されてきた[3,4]。一方でこのグラフェンはSiC基板上に作製されており、グラフェン-基板間にバッファ層と呼ばれる炭素原子層をもつことから、単純にGICを2次元化した構造と考えることは出来ない。したがって、超伝導発現機構を厳密に議論するためには構造を明らかにする必要がある。そこで、KEK物構研における世界唯一のTRHEPD装置を用いて構造解析を行った。

## ■ 結果

図1(左)は、Caインターカレート2層グラフェンからのTRHEPDパターンを示す。グラフェンの $1 \times 1$ 周期構造お

よびCaの $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$   $R30^\circ$  周期構造に由来するスポットが観測された。図1(右)は、鏡面反射(00)スポット強度の視射角依存性であるTRHEPDロッギング曲線を示す。これを最もよく説明するのは、図2のCa原子がグラフェンとバッファ層の間にインターカレートされている構造であった[5]。この構造は以前から予想されていた2層のグラフェンの間にCa原子がインターカレートされているとするモデル[4]とは異なる。したがって、既存の超伝導発現機構を再検討する必要があり、さらにはCa原子による単層グラフェンへの超伝導誘起の可能性も示唆される。

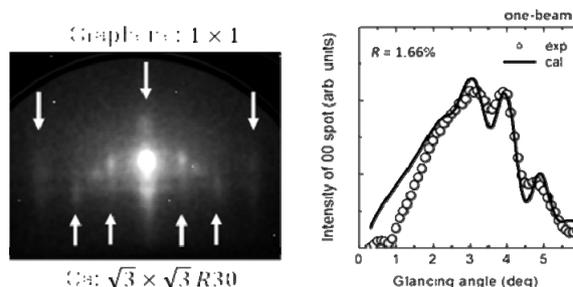


図1 Ca インターカレート2層グラフェンにおける(左) $\langle 11 \bar{2}0 \rangle$ 方向のTRHEPDパターンおよび(右)ロッギング曲線

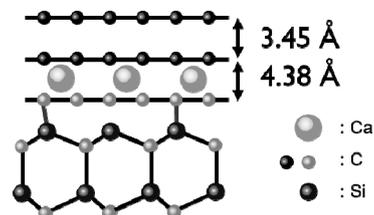


図2 本研究で決定したSiC上のCaインターカレート2層グラフェンの構造

- [1] 兵頭俊夫: 固体物理 2018年11月号 p.141.  
 [2] Y. Fukaya, *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys., **52** (2019) 013002.  
 [3] S. Ichinokura *et al.*, ACS Nano, **10** (2016) 2761.  
 [4] I. I. Mazin *et al.*, Philosophical Magazine Letters, **90** (2010) 731-738.  
 [5] 遠藤由大他, 日本物理学会第73回年次大会(2018)ポスター(22pPSD-71). 投稿準備中.  
 [6] A. P. Tiwari *et al.*, Journal of Physics: Condensed Matter, **29** (2017) 445701.

代表発表者 兵頭 俊夫 (ひょうどう としお)  
 所属 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)  
 物質構造科学研究所  
 問合せ先 〒305-0801 つくば市大穂 1-1  
 TEL: 029-864-5658  
 hyodot@post.kek.jp

■キーワード: (1)陽電子回折  
 (2)2次元超伝導  
 (3)グラフェン  
 ■共同研究者: 遠藤由大 (東大理博士課程)  
 深谷有喜 (原子力機構先端基礎)  
 望月出海 (KEK物構研)  
 高山あかり (早稲田大学先進理工)  
 長谷川修司 (東京大学理学系研究科)