ディラック線ノードの直接観測に成功--トポロジカル量子コンピューター基盤物質を発見

東北大学、高エネルギー加速器研究機構の共同研究グループは、グラフェンと同じ蜂の巣格子を持つ２ホウ化アルミニウム(AlB2)という物質（図 1）が、線ノード型のディラック粒子という新しいタイプの電子状態をもつ物質であることを、放射光を用いた角度分解光電子分光実験により発見しました。

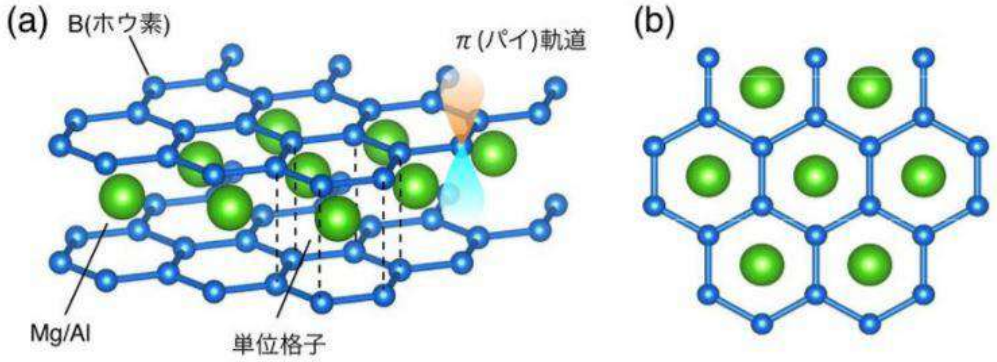

図 1　MgB2(もしくは AlB2)の結晶構造。

このアルミニウム(Al)をマグネシウム(Mg)で置き換えた２ホウ化マグネシウム(MgB2)は 39 K で超伝導を示す高温超伝導体であり、この新たに発見されたディラック粒子を超伝導化することによって、今まで極低温でしか実現されていないトポロジカル超伝導体の転移温度を一気に高温化できる可能性があります。この発見は、ノイズに強いトポロジカル量子コンピューターの開発へ新たな道を拓くものです。

本成果は、 米国物理学会誌 Physical Review B の 速 報 注目論文 (Rapid Communication & Editors’ suggestion)に選ばれ、2018 年 7 月 17 日に、オンライン公開されました。

【研究の内容】

今回、共同研究グループは、MgB2 の Mg を、電子が 1 個多い Al で置き換えた AlB2 の高品質単結晶を作製し、放射光科学研究施設フォトンファクトリー(Photon Factory: PF)において、軟エックス線を利用した角度分解光電子分光（図 2）を用いて、AlB2 の電子状態を決定しました。その結果、図 3(a)に示すように、ディラック粒子の特徴である X 字型のバンド分散を明確に観測しました。

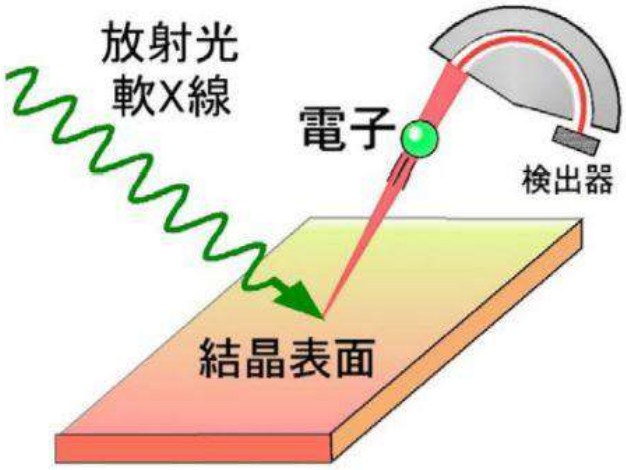

図２:軟 X 線角度分解光電子分光の概念図

さらに高精度な測定から、AlB2 のディラック粒子がエネルギーを変えながら面直方向に連なる「線ノード」型と呼ばれる特殊な電子状態をもつことを見出しました。これは、図 1(a) の点線で示すように AlB2 の蜂の巣格子が、上の格子と下の格子の横位置が同じになるパターン（AA 積層という）で積層することに起因しています。AA 積層の場合、３次元物質であるにも拘らず、そのディラック粒子はグラフェンのような単原子層物質と同様に、トポロジカルに頑強な性質を持ちます。このように、今回の研究成果から、AlB2 がトポロジカル超伝導体になりうる特殊な電子状態を持っていることが明らかになりました。

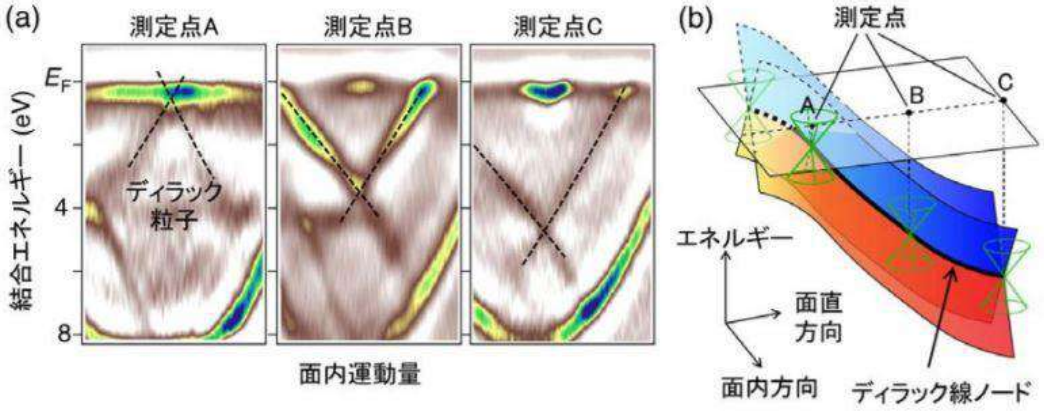

図 3: (a)角度分解光電子分光によって得られた、(b)に示した３ヶ所の測定点 (A, B, C)における AlB2 のバンド分散

日文发布全文 https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/20180731press.pdf