

分野： 自然科学系 キーワード： 物性I、グラフェン、準結晶、2次元物質、ナノ構造物理

従来と全く異なる方法で グラフェンによる「ディラック準結晶」を実現 —結晶にはない新しい性質の開拓へ—

【研究成果のポイント】

- ◆ これまでは、結晶やアモルファス(非晶質)と異なる固体の形態「準結晶」の構造を持つ物質のほとんどは特定の元素組成を持つ合金に限られていた
- ◆ グラフェン^{※1}2枚を 30 度で重ねた系を合成することにより、炭素のみからなる、ディラック電子による準結晶を世界で初めて実現
- ◆ 準結晶のパラダイムを爆発的に広げ、結晶にはない新しい性質の開拓が期待される

❖ 概要

大阪大学大学院理学研究科の越野幹人教授と、J.R.Ahn(成均館大学)、P.Moon(ニューヨーク大学上海)、P. Kim(ハーバード大学)、Y.W. Son(韓国高等科学院)らによる研究グループは、2枚のグラフェンを 30 度の角度で重ねた薄膜を合成することで、ディラック電子による準結晶を実現することに世界で初めて成功しました。

準結晶とは、結晶ともアモルファスとも異なる固体の第 3 の形態で、原子が特殊な規則で配列した物質です。今回、特別な合成方法でグラフェン 2 枚が互いに 30 度で重なった系を生成することで、炭素のみからなる準結晶を実現することに成功しました(図 1)。グラフェンの中の電子は、相対論的ディラック粒子とよばれる、質量のない特殊な粒子として振る舞うことが知られており、今回実現されたグラフェン準結晶は「ディラック準結晶」とも言うべき新しい物理系といえます。従来の準結晶と異なり、2 次元物質^{※2}を特定の角度で重ねるという従来と全く異なる方法で実現されており、準結晶のパラダイムを爆発的に広げる可能性があります。これにより準結晶の物性研究が進み、普通の結晶にはないような新しい性質が見つかることが期待されます。

本研究成果は、米国科学誌「Science」(オンライン)に、2018 年 6 月 28 日に公開されました。

❖ 研究の背景

固体には、原子が周期的に規則正しく並んだ「結晶」と、無秩序に並んだ「アモルファス(非晶質)」という2つの形態がありますが、一方でそのいずれでもない「準結晶」と呼ばれる形態が存在します。準結晶には結晶のような周期性はありませんが、アモルファスとも異なり一定の規則性が存在します。図 2(a)は結晶、2(b)は準結晶の模式図です。図 2(a)の例は、回転させると 60 度毎

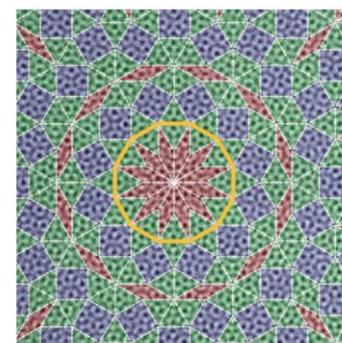
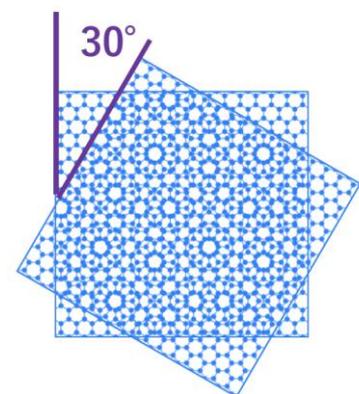


図 1. 30° 積層2層グラフェン(上)とその準結晶構造(下)



Press Release

に元と同じ構造が現れます。360 度回転させる間に同じ絵が 6 回現れるため、これを「6 回対称性」といいます。結晶が持ちうる回転対称性には制限があり、2,3,4,6 回対称以外現れないことがわかっています。これは正三角形、正四角形、正六角形のタイルは隙間なく敷き詰められますが、他の正多角形ではそれが不可能であることと関係します。一方で準結晶では 5,8,10,12 回対称という、結晶ではありえない回転対称性が現れます。(b) は 12 回対称の準結晶の例です。すなわち準結晶とは、周期性はないが、回転対称性がある物質ということができます。準結晶は 1984 年にイスラエルのダニエル・シェヒトマンによって最初に発見され、2011 年にノーベル化学賞が授与されています。

今まで知られている準結晶は Al(アルミニウム)-Ni(ニッケル)-Co(コバルト)などに代表される複雑な合金でした。一方で今回の研究で実現された準結晶は、従来とは全く異なる発想で作られています。その材料は炭素のみです。炭素の 2 次元物質であるグラフェンは、炭素原子が蜂の巣格子に並んだ結晶です。今回特別な合成方法により、グラフェン 2 枚が互いに 30 度で重なった系を生成することで、12 回対称を持つ準結晶が実現されました。角度分解光電子分光と呼ばれる実験手法でその中の電子の状態を観測することで、準結晶特有の 12 回対称の電子構造が明らかになりました。グラフェンの電子は、相対論的ディラック粒子とよばれる、質量のない特殊な粒子として振る舞うことが知られています。今回グラフェン 2 枚を重ねることにより、ディラック粒子による準結晶という新しい物理系が実現されたといえます。

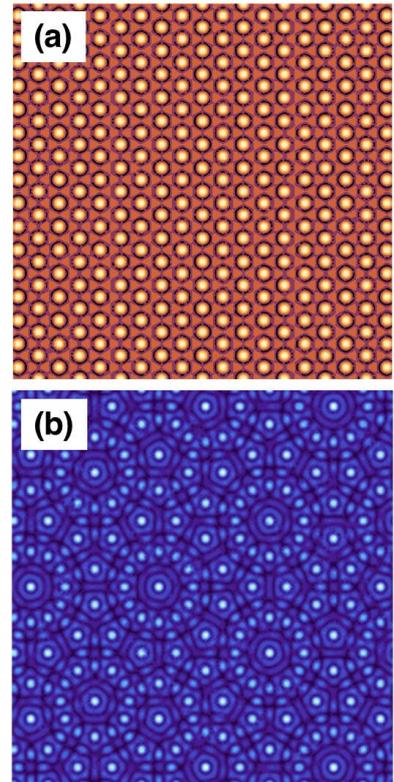


図 2. (a)結晶及び(b)準結晶の構造例

❖ 本研究成果が社会に与える影響（本研究成果の意義）

1984 年の準結晶の発見は 20 世紀までの結晶学の常識を覆す大発見でしたが、その構造を持つ物質のほとんどは特定の元素組成を持つ合金に限られてきました。今回のグラフェン準結晶は、2 枚の 2 次元結晶を特定の角度で重ねるという全く異なる方法で実現されており、準結晶のパラダイムを爆発的に広げる可能性を持っています。準結晶はその特異な幾何学構造から、電気的性質や熱的性質といった物理的特性に特別な性質があることが期待されます。今までの研究では、準結晶は同じ元素組成を持つ結晶に比べ電気抵抗が異常に高いこと、また摩擦が少ないことが知られていますが、準結晶の物性はまだまだ多くのことがわかっていません。今回の発見によって、準結晶の範囲が大きく広がり、普通の物質にはないような新しい性質が見つかることが期待されます。

❖ 特記事項

本研究成果は、2018 年 6 月 28 日(木)に米国科学誌「Science」(オンライン)に掲載されました。

タイトル: “Dirac electrons in a dodecagonal graphene quasicrystal”

著者名: Sung Joon Ahn, Pilkyung Moon, Tae-Hoon Kim, Hyun-Woo Kim, Ha-Chul Shin, Eun Hye Kim, Hyun Woo Cha, Se-Jong Kahng, Philip Kim, Mikito Koshino, Young-Woo Son, Cheol-Woong Yang, Joung Real Ahn

なお、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「原子層科学」(JP25107005, JP15K21722)の補助を受けて行われました。

Press Release

❖ 用語説明

※1 グラフェン

炭素原子が蜂の巣格子に並んだ 2 次元物質。グラファイトの1層を取り出すことによって得られる。グラフェンの電子は「相対論的ディラック電子」と呼ばれる特殊な粒子として振る舞う。

※2 2次元物質

グラフェンに代表される、その厚さが原子1個分の究極の薄膜。

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究に関すること>

大阪大学 大学院理学研究科

教授 越野 幹人(こしの みきと)

TEL: 06-6850-5742

E-mail: koshino@phys.sci.osaka-u.ac.jp

<広報・報道に関すること>

大阪大学 理学研究科 庶務係

TEL: 06-6850-5280 FAX: 06-6850-5288

E-mail: ri-syomu@office.osaka-u.ac.jp