



【本件リリース先】

文部科学記者会、科学記者会、広島大学関係報道機関、  
久留米市 市政記者クラブ

令和4年3月2日

本件の報道解禁につきましては、令和4年3月  
3日午前0時以降にお願いいたします。

最 の線ノード型ディラック 子を 伝導体の中に発  
- 省 カデバイス 発へ -

【 の イ ト】

- 1200 km/s の ディ ック を し、グ エ による を り えました。
- 「 」かつ「 」のノ ドをもつディ ック と「 」の が、 の で することを しました。
- は、より い で する デバイス や、 に は ナ の の となるト ジカ の に な を えることが されます。

【 】

の D3 、 の  
、 の の グ は、  
の 、イ シ パ との として、  
セ タ 1 BL-1、 SPring-8 2 の X  
イ BL25SU にて シ ク ト 3 を した  
ARPES 4 を いて、 5 として られる  $ZrP_{2-x}Se_x$  のバ  
ド構 の 測に 功し、 界中で精 に探索が続けられている ノド ディ ック  
が、 中の 原 の によって形 られることを しました。さらに、  
で されたディ ック が、グ エ を含め、これまで に された 中のディ  
ック の中 で も で1200 km/sに することを らかにしました。 におけ  
る の ノド ディ ック の は、今後、 を 幅に下げた デバイ  
スや コ ピュ タの につながることを されます。  
の は、 の Physical Review B のレタ セクショ ン に 予定で  
す。また、 が のハイ イト に ばれました。

【 情報】

タイト Evidence for Dirac nodal-line fermions in a phosphorous  
square-net superconductor

名 \* 1 \* 2,3 河 嵩<sup>1</sup> 宮 4 Shiv Kumar<sup>3</sup>  
田 也<sup>3</sup> 5 泉<sup>5</sup> 岡 彦<sup>5</sup> 田 之<sup>5</sup> 岡 彦<sup>5</sup>

司<sup>5</sup> 後<sup>5</sup> 吉田<sup>5</sup> 伊<sup>5</sup> 彰<sup>5</sup> 永崎<sup>5</sup> 川<sup>5</sup>  
 健司<sup>5,6</sup> 柳<sup>5,6</sup> 介<sup>5,6</sup> \* 1.4 \*  
 属<sup>1</sup> セ<sup>4</sup> タ<sup>4</sup> シ<sup>6</sup> パ<sup>6</sup>  
 2 3 5

Physical Review B (Letter)

<https://journals.aps.org/prb/accepted/e507bY0cX681ee8fd0bb31d89b9f686ab911a1c48>

【景】

かけ上の がぜ になるディ ック 6 は、不純 があってもぶつかることなく  
 み続けるといふ目 ましい特徴をもっており、炭素原 が の巢 を組むグ エ  
 で 初に されました。 で移 の い 気 を するため、グ エ を いた  
 デバイスの が められています。ディ ック が示す特殊な ホ 効は、  
 2010年のノ ベ の対 にもなりました。このディ ック は、 在、2種  
 に けられています。ノ ドと呼ばれるエネ ギ の原点が「点 」のものと「 」のもの  
 です 図 。グ エ を含め、これまで された 中のディ ック は、ほとんど  
 が点ノ ドで、 ノド は希少です。  
 ノド は、ディ ック のエネ ギ  
 散 係が 空 で 続 につながって  
 いるため、 が散乱されにくいという性  
 が されることに が まっています。  
 さらなる のデバイス のためには、  
 「 」でかつ「 」なディ ック を  
 持ち、さらに「 」を示すことが 求  
 れます。しかし、 拍 そろった は未だ  
 されておらず、 界中の が熱心に  
 探索しています。

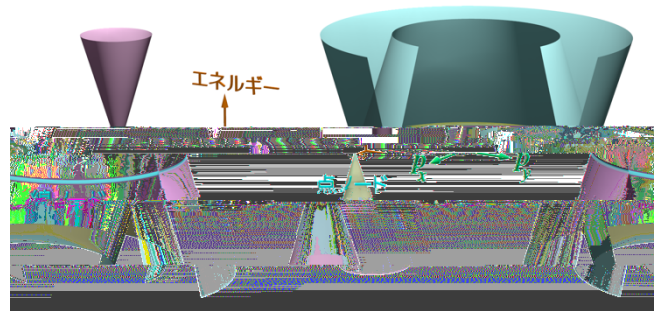


図1: 点 左 と 右 のディ ック  
 のエネ ギ 散。

、半 属 ZrSiSに ノド のディ  
 ック がいることが報告されましたが、そ  
 の さはグ エ の65%で、 は示  
 しません。また PbTaSe<sub>2</sub>に ノド ディ ック が されていますが、その  
 さはグ エ の40%でした。

【 の内容】

このような中、 ZrP<sub>2-x</sub>Se<sub>x</sub>が の である  
 以下、 の らにより2014年に されました。この は、  
 ノド半 属 ZrSiSを形 成シ コ Siの単原 層を、 Pの単原 層に き換えたも  
 のになっていることから 図2左 、 様の ノドが れるものと第一原 算で予測さ  
 れていました。そこで、 では、 ZrP<sub>2-x</sub>Se<sub>x</sub>の 構 を直接 測し、 ノド  
 ディ ック の有無とその形 源を べるために、 を いた  
 を いました。

その結 、 ZrP<sub>2-x</sub>Se<sub>x</sub>にはダイヤモ ド をした環 の ノドが 在すること  
 を らかにしました 図 。また、 測されたディ ック 散 係の傾きから、 ノド  
 ディ ック の が1200 km/sに することがわかりました 図2右 7 。こ  
 の は、グ エ 中の点ノ ド ディ ック の に匹敵し、これまで に られてい  
 る ノド ディ ック の を 幅に上回る です。また、 P原 の

でできた単原層を仮定してモデルを算出したところ、結果を事に再する結果が得られました(図3)。このことから、測定された特徴的な環のノードとディックが、P原の傾きによって変わることがわかりました。

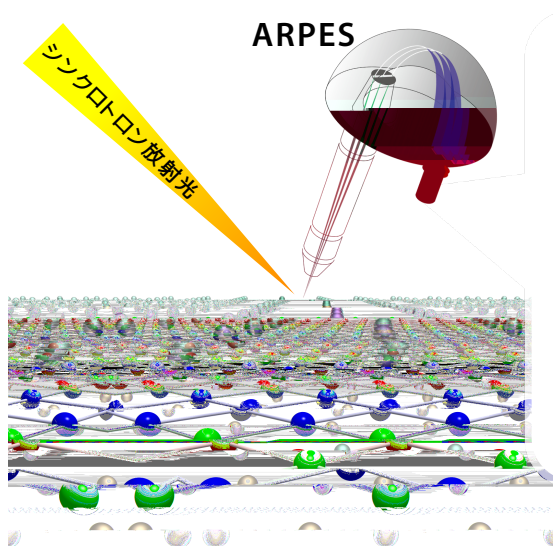


図2: 左側の図はARPESの測定装置を示し、右側の図はP原の単原層のエネルギー散逸係を示す。縦軸はエネルギー、横軸は波数としたときのディックの傾きが、

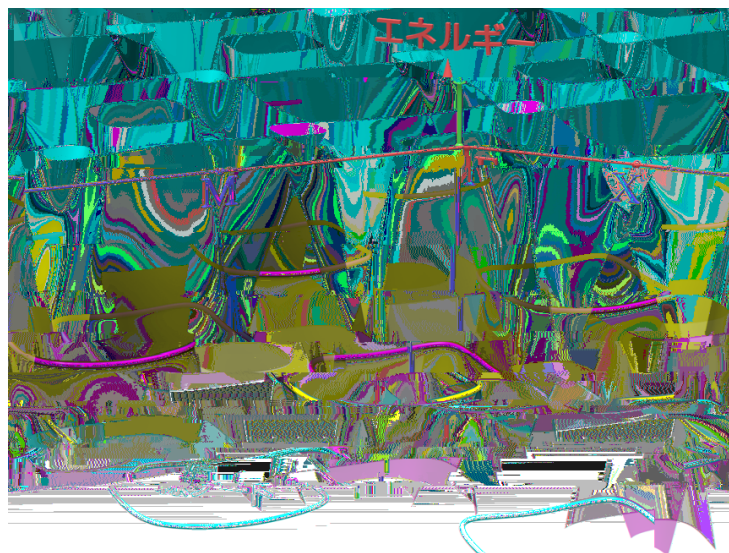


図3: 環のノードをもつディックのエネルギー散逸係。Pの単原層のモデルとおおむね一致することが確認された。

【 結果による 】

今回の研究のポイントは「 」でかつ「 」のディックを「 」の中に出したことです。このことにより、デバイスへの実用化が期待されました。また、トポロジという概念が注目され、さまざまな新奇性が予言されており、ノードを有する材料もトポロジで設計することがわかってきました。その点から、今回の研究は新しいトポロジ材料の開発にもつながり、エ

耐性に優れた コ ピュ タの のために必 幻の ナ 8 の  
にもつながると されます。

## 【語説】

### 1. セタ

光源 HiSOR から生ずる紫外～X 域の をし、界 端の測 をいて を推 しています。また の中に かれた 拠点として、多様な 化や 景を持つ 内外の 機 の第一 の と通の 課題に取り組み、互いに ぶことのできる環境を活 した、生 生、若手 の育 を めています。

### 2. SPring-8

兵庫県の播磨 公園都市にある 界 性能の を生み出す 化 の で、支援等は セタ JASRI が っています。SPring-8 の名前は Super Photon ring-8 GeV ギガ ボト に由 します。 とは、 を とほぼ等しい まで加 し、磁 によって 向を曲げたときに 生ずる、向性が くな 磁波のことです。SPring-8では、この を いて、ナノテクノ シやバイオテクノ シ、 まで幅 い が われています。

### 3. シクト

の まで加 された の 向を磁場によって曲げると、シクト と呼ばれる い が 生じます。宇宙では星雲の中に を つけることができますが、地上では専 の加 器が必 です。シクト は、 が手に入れた も なで「夢の 」とも呼ばれます。 で した SPring-8や、 として唯一の セタ など、日 にはシクト が多数 在し、 端の が われています。

### 4. ARPES

に を当てると、効 によって 内部の が 出されます。このとき 出される は、エネ ギ保 則と 保 則に従って、 内部の 態の情報を保持しています。 は、 出された の エネ ギと 出 を析することで、 内部の の束縛エネ ギと波数の 係、つまりバ ド構 を直接 測できる手 です。

### 5.

一般に、 属には 気抵抗があるため、 流を流すときに一定の を することになります。 は、ある温 転移温 と呼ばれる よりも い温 で 気抵抗がゼ になるで、1911 年にカ オ ネスにより初めて されました。 の は、 問題 決の切り札として、 されています。

### 6. ディ ック とグ エ

結晶中の は周 テ シ を感じながら することにより幅のあるエネ ギ バドを形 します。一般に の エネ ギ  $E$ は、  $p$ を いて  $E = p^2/2m^*$   $m^*$ は有効 とあらわすことができ、縦 に  $E$ 、横 に  $p$ をとるエネ ギ バドが になります。一 、炭素原 一層だけからなるグ エ の場 、2つのエネ ギ バドが 点で交差し、その交差点の ぐではエネ ギ  $E$ が  $p$ に比例し、 形のエネ ギ バドを持ちます。これは のない としての とし 数のかたちをとることから、グ エ にも ゼ の が 在するということになります。このような 形のエネ ギ バドは、 ディ ックが提唱した相対性 に基づいた 程 で説 できるため、ディ ック と呼ばれます。

グ エ は、曲げやすく壊れにくいという機械 的な性 だけでなく、みかけの が ゼ であるディ ック を有する点で基礎 応 の 点から注目され 界中で が展 されてきました。結晶中には、少なからず欠陥や不純 が 在し、一般には がそれら

にぶつかることで 気抵抗が生じます。ところが、グ エ 中のディ ック は不純 や 欠陥をものともせず「 き続ける」性 があります。その結 、グ エ は室温付 であっ ても い 移 ある一定の 場でどれだけ が きな加 を得ることができるか を す「 の移 のしやすさ」を示し、 デバイスの 有 候補として注目を浴びて いました。

## 7. の さ

も と じように と波の二重性がある。ここでいう の さは、波の群 で ある エ ミ  $V_F$ をさす。 エ ミ は、エネ ギ (E)の (p)の エ ミエネ ギ ( $E_F$ )での微 係数  $V_F = |dE/dp|_{E=E_F}$ で せる。

## 8. ナ

では負の 荷をもつ が 流を担っていますが、 ディ ックは、相対 で と反対の 荷をもつ の 在を予言し、その後、 の 在が されまし た。このような と の 係は「 と反 の 係」と呼ばれています。1937年 にエットレ ナは でも反 でもない、新しい の 在を預言しました。これ は ナ と呼ばれ、在 界中でその に向けた が展 されています。 ナ は 気 に中性であるため、エ 耐性に優れた コピュ タの が可能として その謎の の に きな が寄せられています。

### 【謝辞】

は、日 振興 JSPS 補助 基盤 A「非 な結晶対称性 を持つ 相 の 態 測とト シの 課題番号 18H03683、 」、基盤 S「ト シカ 相でのバ ク エッジ対応の多様性と普遍性 を越えて 横断へ 課題番号 17H06138、 初貝安弘 」などの支 援を受けて われました。

### 【お問い合わせ】

【 に すること】

グ

TEL 090-6346-5384

E-mail [akiok@hiroshima-u.ac.jp](mailto:akiok@hiroshima-u.ac.jp)

育創

TEL 090-2063-9063

E-mail [ino@kurume-it.ac.jp](mailto:ino@kurume-it.ac.jp)

【報道に すること】

財務 務室 報部 報グ

TEL 082-424-3749 FAX: 082-424-6040

E-mail [koho@office.hiroshima-u.ac.jp](mailto:koho@office.hiroshima-u.ac.jp)

入試課

TEL 0942-65-3488

E-mail [nyushi@kurume-it.ac.jp](mailto:nyushi@kurume-it.ac.jp)