

## 室温で「スピン量子凝縮」を実現

—先端光技術と新材料の融合で新しい光量子デバイスの道を拓く—

### 1. 発表者：

山下 兼一（京都工芸繊維大学電気電子工学系 教授）  
高橋 駿（京都工芸繊維大学電気電子工学系 准教授）  
岡田 大地（京都工芸繊維大学電気電子工学系 助教）

### 2. 発表のポイント：

- ◆ 室温でスピン自由度を持つポラリトン凝縮を実証
- ◆ 結晶の光学異方性と強い粒子間相互作用により円偏光状態が自発的に発現
- ◆ 凝縮は「二段階しきい値」という特徴的なダイナミクスを示す
- ◆ 超高速光スイッチをはじめとする光量子デバイスの実現による将来の光量子コンピューティングやスピントロニクスへの応用に期待

### 3. 発表概要：

京都工芸繊維大学電気電子工学系の山下兼一 教授、高橋駿 准教授、岡田大地 助教らは、鉛ハライドペロブスカイト（注1）微小共振器において、室温でスピン自由度を持つポラリトン（注2）凝縮（スピノール凝縮（注3））を実証しました。これまで低温でしか観測されていなかったこの量子現象を室温で実現したことにより、スピンを利用した超高速光スイッチ、スピンベース論理回路、コヒーレントスピン輸送などの新しい光量子デバイスの実用化に大きく前進しました。

### 4. 発表内容：

#### 研究の背景

光と物質が強く結合したポラリトンは、軽い質量と強い相互作用を併せ持つため、比較的高温でもボース凝縮（注4）を起こすことが知られています。近年では室温でのポラリトン凝縮も報告されており、次世代の量子光デバイスとして注目されています。一方で、ポラリトンはスピン自由度を持つため、「スピノール凝縮」と呼ばれる状態を形成する可能性があります。しかし、この現象はこれまで $-250^{\circ}\text{C}$ 以下の極低温環境でしか確認されておらず、室温での実現は大きな課題でした。

#### 研究内容

本研究では、「光」と「物質」が一体となった特殊な準粒子（ポラリトン）を使い、これまで低温でしか起こらなかった量子現象を、室温で実現することに成功しました。このポラリトン粒子は、多数の粒子が同じ状態にそろって「凝縮」と呼ばれる現象を比較的起こしやすいという特徴があります。

### ● ポイント①：光が「そろって動く」状態を作った

通常、光はバラバラに振る舞いますが、この研究では光と物質が一体となった特殊な粒子（ポラリトン）がまとまって同じ状態になる「凝縮状態」を作り出しました。これは、水が冷えると氷になることと似ており、粒子が一斉にそろって協働的に振動する現象です。

### ● ポイント②：さらに「回転（スピン）」までそろった

今回の重要な発見は、この凝縮した状態に「スピン（粒子の回転の向き）がそろう」という性質が現れたことです。光は右回り・左回りといった回転の性質（偏光）を持つことができますが、今回の実験では、「粒子同士の相互作用によって、自発的にスピンのそろった状態が生まれる」ことが分かりました。これをスピノール凝縮と呼びます。

### ● ポイント③：「2段階」で現れる新しい現象

さらに詳しく調べると、この現象は一度に起こるのではなく、「まず通常の凝縮」が起こり、「その後スピンのそろった状態」が現れるという2段階の変化を示すことが分かりました。これは、粒子同士の強い相互作用によって初めて現れる新しい現象です。

### ● ポイント④：しかも「室温」で実現

これまで同様の現象は、非常に低温（極低温）でしか観測されていませんでした。本研究では、鉛ハライドペロブスカイトと呼ばれる材料を使うことで、室温でもスピン付きの凝縮状態を実現することに成功しました。

## 今後の展開

本研究の成果により、今後は超高速光スイッチ、スピンベース論理回路、コヒーレントスピン輸送などの新しい光量子デバイスの実現が期待されます。また、ペロブスカイト材料の加工性・拡張性を活かし、オンチップ光回路への統合も視野に入ります。

※本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業 CREST (JPMJCR20T4)、日本学術振興会 (JSPS)科学研究費補助金 (基盤研究(A): JP22H00215 および JP25H00741、国際共同研究加速基金(海外連携研究): JP24KK0084) の支援を受けて行われた。

## 5. 発表雑誌：

雑誌名：Science Advances

論文タイトル：Room-temperature spinor condensate in halide perovskite microcavity

著者：Takaya Inukai, Ryohei Shibano, Taiki Ogura, Tohki Inoue, Daichi Okada, Shun Takahashi, and Kenichi Yamashita

DOI 番号：10.1126/sciadv.aeb1521

## 6. 用語解説：

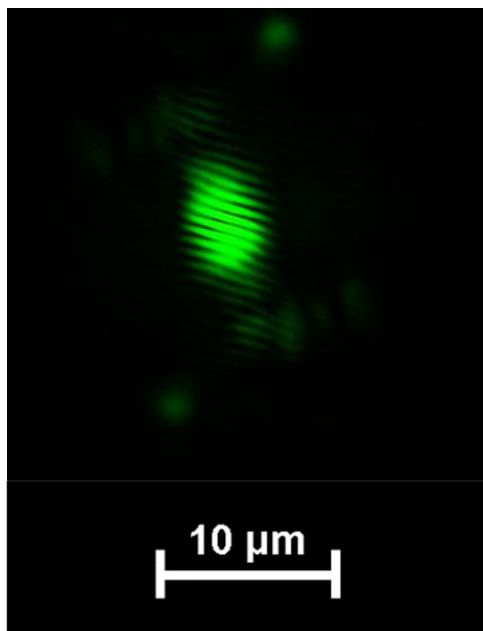
注1) 鉛ハライドペロブスカイト：ペロブスカイトと呼ばれる結晶構造を持った光を強く吸収・発光できる特徴を持つ材料で、次世代太陽電池や光デバイスへの応用が期待されている

注2) ポラリトン：光と電子励起が結合した準粒子

注3) スピノール凝縮：スピン自由度を持つ凝縮状態

注4) ボース凝縮（凝縮）：粒子が同一の量子状態に集まる現象

7. 添付資料：



ポラリトンからの発光の顕微鏡写真。  
スピノール凝縮を示す量子干渉を示している。