

La llum fa "descarrilar" electrons a través del grafe

Investigadors de l'ICFO a Barcelona, la Universitat de Columbia a EEUU, la NTU de Singapur i el NIMS del Japo han aconseguit per primera vegada i de forma experimental corbar la trajectoria del electrons dins una mostra de grafe bicapa utilitzant llum.

March 24, 2022

La manera com els electrons es mouen dins dels materials determina les seves propietats electroniques. Per exemple, quan s'aplica un voltatge a través d'un material conductor, els electrons comencen a fluir i generen un corrent electric. Aquests electrons flueixen, segons es creu, en trajectories rectes, movent-se al llarg del camp electric, com una pilota que roda cap avall en un pla inclinat.

Tot i això, aquestes no són les úniques trajectories que poden adoptar els electrons: quan s'aplica un camp magnetic, els electrons ja no viatgen en camins rectes al llarg del camp electric, sino que, de fet, les seves trajectories es corben. El flux no rectilini dels electrons genera senyals transversals coneguts com a respostes de $i\frac{1}{2}$ Hall $i\frac{1}{2}$ ($i\frac{1}{2}$ Hall response $i\frac{1}{2}$). Ara bé, una de les preguntes que s'han plantejat els científics durant aquests anys

es la següent: és possible corbar la trajectoria dels electrons sense aplicar un camp magnètic? En un nou estudi publicat en un equip internacional d'investigadors anuncia que ha aconseguit corbar les trajectories dels fluxos electrons dins el grafe bicapa amb llum infraroja polaritzada circular.

L'estudi ha estat realitzat per un equip format pels científics de l'ICFO **Jianbo Yin** (actualment investigador del Beijing Graphene Institute, Xina), **David Barcons**, **Iacopo Torre**, dirigit pel Professor ICREA de l'ICFO **Frank Koppens**, en col·laboració amb **Cheng Tan** i **James Hone** de la Universitat de Columbia, **Kenji Watanabe** i **Takashi Taniguchi** de NIMS Japo i el professor **Justin Song** de la Universitat Tecnològica de Nanyang (NTU) a Singapur.

Jianbo Yin, primer autor de l'estudi, recorda molt bé com va començar tot. «Aquest estudi col·laboratiu va començar l'any 2016 en una conversa entre Justin Song i Frank Koppens en una conferència científica». Com explica Justin Song, «els electrons no són només partícules, sinó que també poden ser vistos com una ona quàntica». En els materials quàntics, com el grafe bicapa, el patró d'ona dels electrons pot exhibir un enrotllament (winding) complicat que s'anomena **geometria quàntica**. «En Frank i jo vam parlar sobre la possibilitat d'aprofitar aquesta geometria quàntica del grafe bicapa per intentar doblegar la trajectoria dels electrons amb llum en comptes de fer-ho mitjançant camps magnètics?». Amb aquesta idea, Jianbo Yin, investigador de l'equip de Frank Koppens, va assumir el rol de dur a terme l'experiment per poder observar aquest fenomen inusual. «El nostre dispositiu va ser molt complicat de construir. Va ser necessari construir molts dispositius i anar a la Universitat de Columbia als Estats Units per treballar amb Cheng Tan i James Hone per tal de millorar la qualitat del dispositiu».

Geometria quàntica i selectivitat de la vall

En el grafe bicapa, hi ha dues concentracions de valls d'electrons denominades K i K': quan s'aplica un camp elèctric perpendicular a la capa de grafe, les propietats geomètriques quàntiques dels electrons en aquestes dues valls poden provocar que les trajectories dels electrons es corbin en direccions oposades i, com a resultat total provocar que els seus efectes Hall es cancel·lin.

En el seu estudi, l'equip de científics va descobrir que en aplicar llum infraroja circularment polaritzada sobre el dispositiu de grafe bicapa, aconsegueixen excitar de manera selectiva un conjunt específic d'electrons d'una de les valls del material, fet que generava un fotovoltatge perpendicular al flux d'electrons habitual.

Tal i com destaca Frank Koppens, «vam dissenyar el dispositiu i el vam configurar de manera que el corrent d'electrons fossin capaçs de fluir únicament amb aplicant llum. Amb això, vam poder evitar el soroll de fons que dificulta les mesures i vam obtenir una sensibilitat en la detecció diversos ordres de magnitud més gran que en qualsevol altre material».

Aquest resultat és significatiu perquè els fotodetectors convencionals que s'utilitzen

avui dia requereixen sovint de grans polaritzacions del voltatge que, alhora al mateix temps, poden generar "corrents foscos" (dark currents) que flueixen fins i tot quan no hi ha llum. Yin comenta que i½podem controlar el grau de curvatura de la trajectoria dels electrons amb el camp electric que apliquem fora del pla. Podem canviar l'angle de curvatura d'aquests electrons, que es pot quantificar a través de la conductivitat de Hall. Mitjançant el control del voltatge, es pot ajustar la curvatura de Berry [una característica de la geometria quantica], cosa que pot conduir a una conductivitat de Hall enorme i½. Els resultats de l'estudi obren un nou camp d'aplicacions en l'ambient de la detecció i l'obtenció d'imatges. Segons Frank Koppens, i½aquest descobriment podria tenir implicacions importants en el desenvolupament de detectors del rang de l'infraroig i de terahertz, ja que el grafe bicapa té la gran capacitat de transformar-se d'un material semimetàl·lic a un semiconductor, amb una banda prohibida (bandgap) molt petita. És per això que pot, detectar fotons d'energies molt petites. i½ i½També pot ser útil, per exemple, per obtenir imatges des de l'espai, imatges per al diagnòstic mèdic, per exemple, per al càncer de pell o altres teixits o fins i tot per a aplicacions de seguretat com la inspecció de qualitat de materials i½, conclou Koppens. Les possibilitats són immenses. Els proxims passos a seguir en la recerca de nous materials 2D, com el grafe bicapa girat, poden obrir la porta a trobar noves maneres de controlar els fluxos d'electrons i les propietats optoelectròniques no convencionals d'

quests materials. **Tumblr #nanotech** **Valley selective Hall effect in gapped bilayer graphene**, Jianbo Yin, Cheng Tan, David Barcons-Ruiz, Iacopo Torre, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Justin C. W. Song, James Hone, Frank H. L. Koppens, 2022, SCIENCE, Doi: 10.1126/science.abl4266

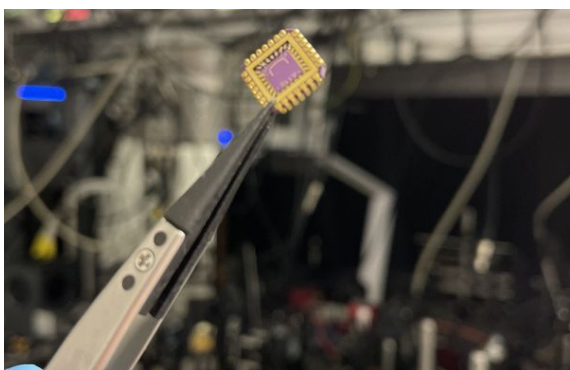
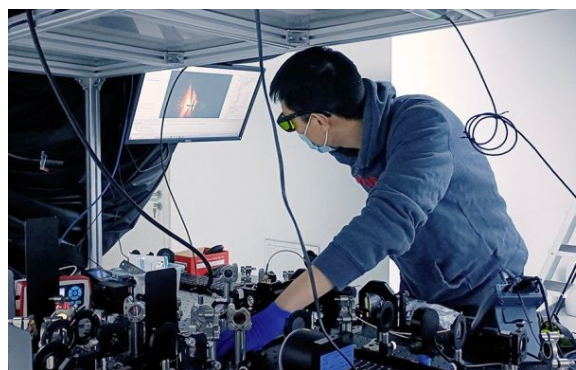
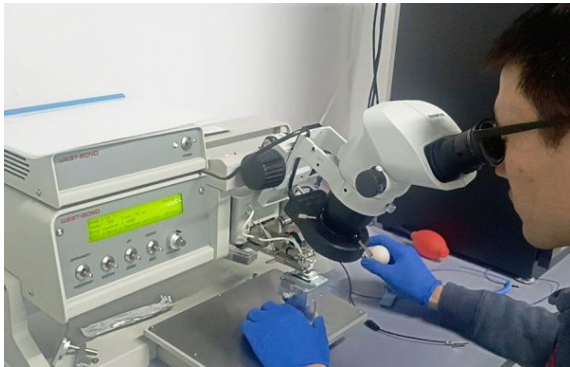


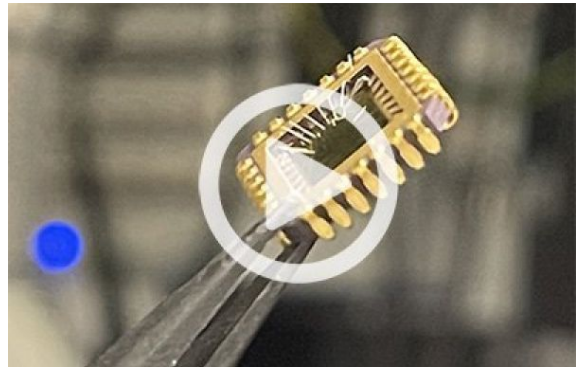
Image credit: ICFO



Jianbo Yin working in his new research lab at Beijing Graphene Institute in China, where he is continuing his research in the field.



Jianbo Yin working in his new research lab at Beijing Graphene Institute in China, where he is continuing his research in the field.



Video interview with Jianbo Yin, Frank Koppens and Justin Song