



# Proyecto 20FUN03 COMET.

Nuevos materiales para la  
Resistencia Hall Cuántica



# ÍNDICE:

- Motivación del proyecto
  - Efecto Hall Cuántico
  - Necesidad de Nuevas Muestras
- JRP FUN03 COMET
  - Consorcio
  - Propuesta Técnica
  - Objetivos del proyecto
  - Plan de Trabajo
    - WP1
    - WP2
    - WP3



# Motivación: Efecto Hall Cuántico

K. von Klitzing, G. Dorda, M. Pepper. *Phys. Rev. Lett.* 45 (6): 494–497. (1980).

- $R_H(n) = \frac{h}{ne^2}$

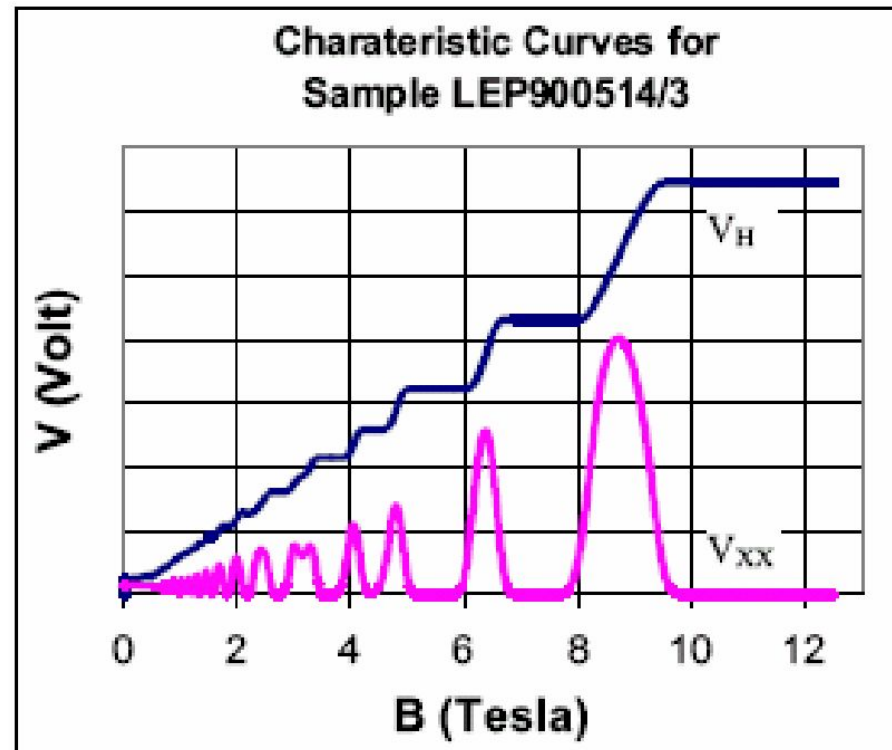
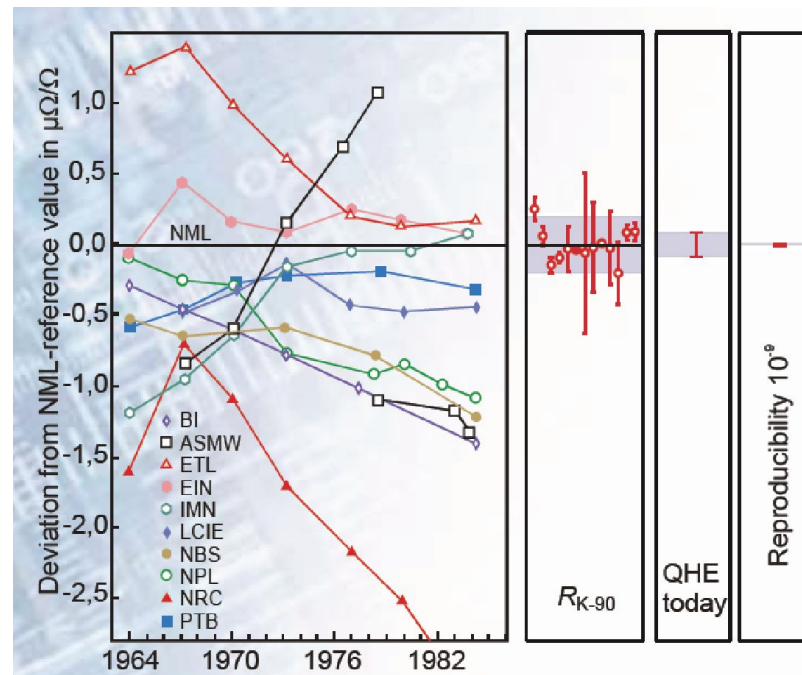


Fig 1. Curva IV de una muestra de Efecto Hall Cuántico



# Motivación: Efecto Hall Cuántico

- Resolución 2CI-88: Representación del ohm
- Resultados decisivos para redefinición del SI en 2018





# Motivación: Efecto Hall Cuántico

**El Sistema Internacional de Unidades. Anexo II. Realización práctica de las definiciones de las unidades básicas. Edición en español. Centro Español de Metrología.**

## 3. Realización práctica del amperio

Como se ha indicado en el apartado 1, realizar una unidad generalmente significa establecer el valor y la incertidumbre asociada de una magnitud del mismo tipo que la unidad, consistente con la definición de la unidad. En la práctica, el amperio A puede realizarse:

- (a) utilizando la ley de Ohm, la relación entre unidades  $A = V/\Omega$ , y las realizaciones prácticas de las unidades derivadas SI, voltio V y ohmio  $\Omega$ , basadas en los efectos Josephson y Hall cuántico, respectivamente, analizados a continuación en los apartados 4 y 5, o

## 5. Realización práctica del ohmio, $\Omega$ , unidad derivada SI de resistencia eléctrica e impedancia

El ohmio puede realizarse:

- (a) utilizando el efecto Hall cuántico de manera acorde con las Directrices del CCEM [2] y el siguiente valor de la constante de von Klitzing,  $R_K$ :

$$R_K = 25\,812,807\,459\,3045\ \Omega. \quad *$$

\* Este valor se ha calculado con 15 dígitos significativos.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

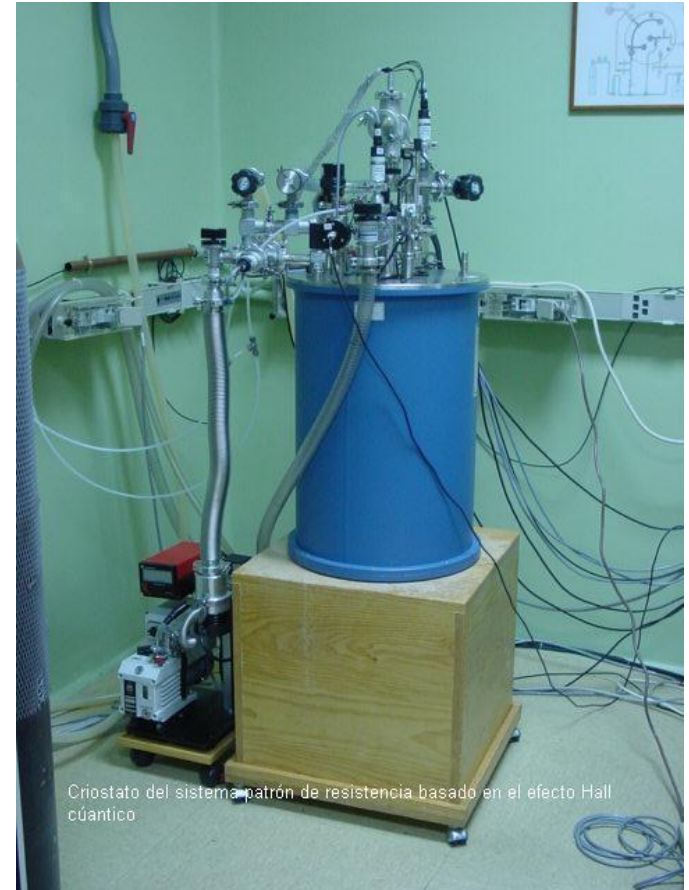
MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Motivación: Efecto Hall Cuántico

Se requiere un sistema especial para producir las condiciones experimentales necesarias.

$T < 1,5 \text{ K}$ .  $B \sim 10 \text{ T}$ .

Difusión limitada.



Criostato del sistema patrón de resistencia basado en el efecto Hall cuántico

*Fig 3. Criostato del patrón de resistencia del CEM basado en el Efecto Hall Cuántico*



# Motivación:

## Necesidad de Nuevas Muestras

- Se necesitan nuevos dispositivos que presenten el efecto en condiciones menos exigentes
- Investigación hasta ahora centrada en el grafeno, con resultados prometedores pero con problemas de ajuste y estabilidad



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# JRP EMPIR 20FUN03 COMET

## Participantes:

- Centro Español de Metrología (CEM), España, coordinador del proyecto.
- Główny Urząd Miar (GUM), Polonia.
- Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Italia.
- Laboratoire national de métrologie et d'essais, (LNE), Francia
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Alemania.
- Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Turquía.
- Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR), Alemania.
- Instituto Madrileño de Estudios Avanzados en Nanociencia (IMDEA), España.
- POLITO, Italia.
- TUD, Alemania.





# JRP EMPIR 20FUN03 COMET

## Propuesta

Uso de matrices metal-orgánicas o covalente-orgánicas, como alternativa a las heteroestructuras AlGaAs y al grafeno. Ventajas:

- Capacidad de ajustar características tales como densidad y movilidad de portadores
- Fácilmente escalables



# JRP EMPIR 20FUN03 COMET

## Objetivos del Proyecto (1)

**1 - Desarrollar matrices de Dirac covalentes-orgánicas y metal-orgánicas bidimensionales monocapa (2D-COF/MOFs), en las cuales estructuras hexagonales similares a las del grafeno se obtengan a partir de ligantes orgánicos trigonales. La química, la morfología y las propiedades electrónicas de las 2D-COF/MOFs serán sintonizadas de manera precisa y escalable.**

**2 - Realizar una caracterización trazable multi-escala de las muestras 2D-COF/MOFs. Específicamente, para caracterizar sus propiedades eléctricas como función del área de la muestra y la naturaleza del substrato empleado (antes y después de su integración en dispositivos QHRS).**



# JRP EMPIR 20FUN03 COMET

## Objetivos del Proyecto (2)

**3 – Realizar medidas de Efecto Hall Cuántico y asegurar el potencial de los materiales 2D-COF/MOFs para realizar un Patrón de Resistencia Hall Cuántica (QHRS).** Específicamente, comparar los dispositivos QHRS basados en estas muestras contra los basados en grafeno y en heteroestructuras AlGaAs/GaAs.

**4– Asegurar el liderazgo europeo en la investigación de un una clase novedosa de materiales 2D,** mediante el establecimiento de capacidades de investigación, protocolos adecuados, esquemas de calidad y trazabilidad; y facilitar el acceso de la tecnología y de la infraestructura de medida desarrolladas por el proyecto por parte de la comunidad metroológica y en el desarrollo de tecnología emergentes tales como la conversión de energía solar, sensores, membranas, optoelectrónica, espintrónica, etcétera.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# JRP EMPIR 20FUN03 COMET

## Objetivos del Proyecto (3)

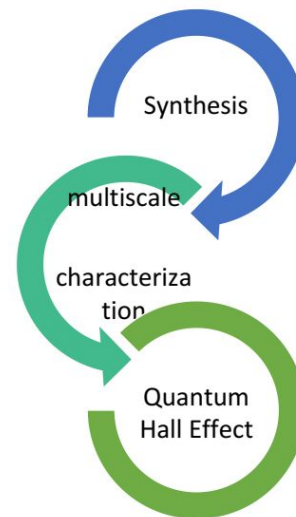
**5- Diseminar los resultados a los interesados** (dentro y fuera de la comunidad metrológica) con el fin de habilitar una cooperación en investigación que pueda ser sostenida a largo plazo.



# JRP EMPIR 20FUN03 COMET

## Plan de Trabajo

- WP1: “*Synthesis and engineering of 2D-MOF/COFs*”
- WP2: “*Electrical characterization*”
- WP3: “*Quantum resistance metrology*”

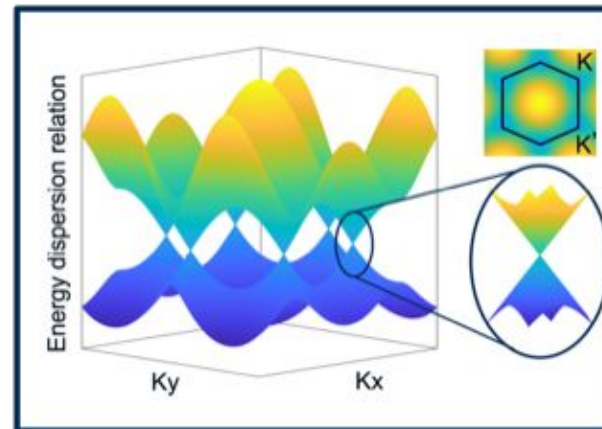




# WP1

## WP1: “*Synthesis and engineering of 2D-MOF/COFs*”:

Dedicado a la síntesis de muestras de materiales bidimensionales con estructuras de bandas tipo conos de Dirac, y al ajuste y optimización de sus propiedades físicas y químicas para su posterior uso como patrones de resistencia basado en el valor de la resistencia Hall cuántica.





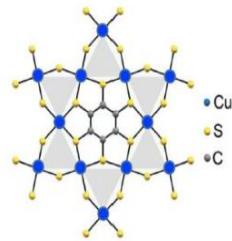
GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

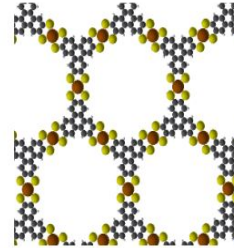
# WP1

WP1: “*Synthesis and engineering of 2D-MOF/COFs*”:

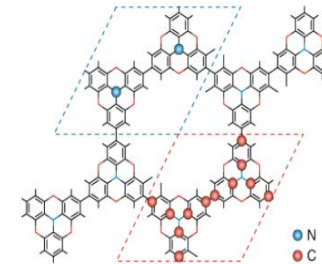
Tres tipos de materiales identificados



Sample 1: BHT-Cu



Sample 2: HTTP-Pt



Sample 3: P<sup>2</sup>TANG

Fig 7. *Diversos materiales 2D candidatos a muestras de Efecto Hall Cuántico*



# WP1

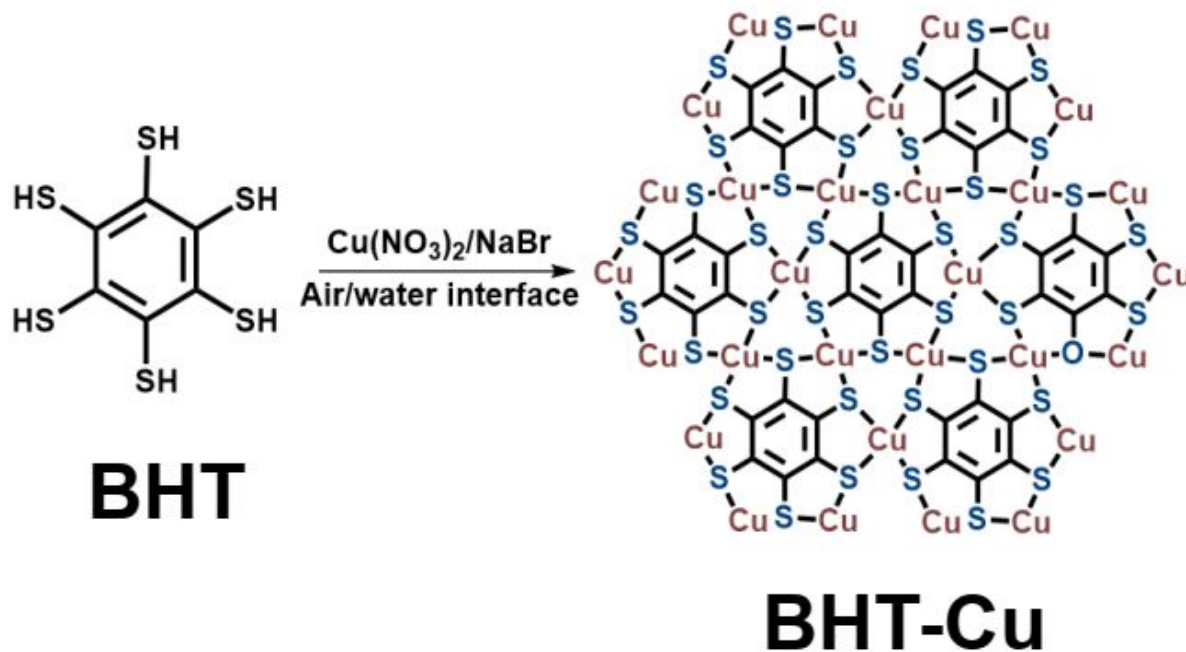
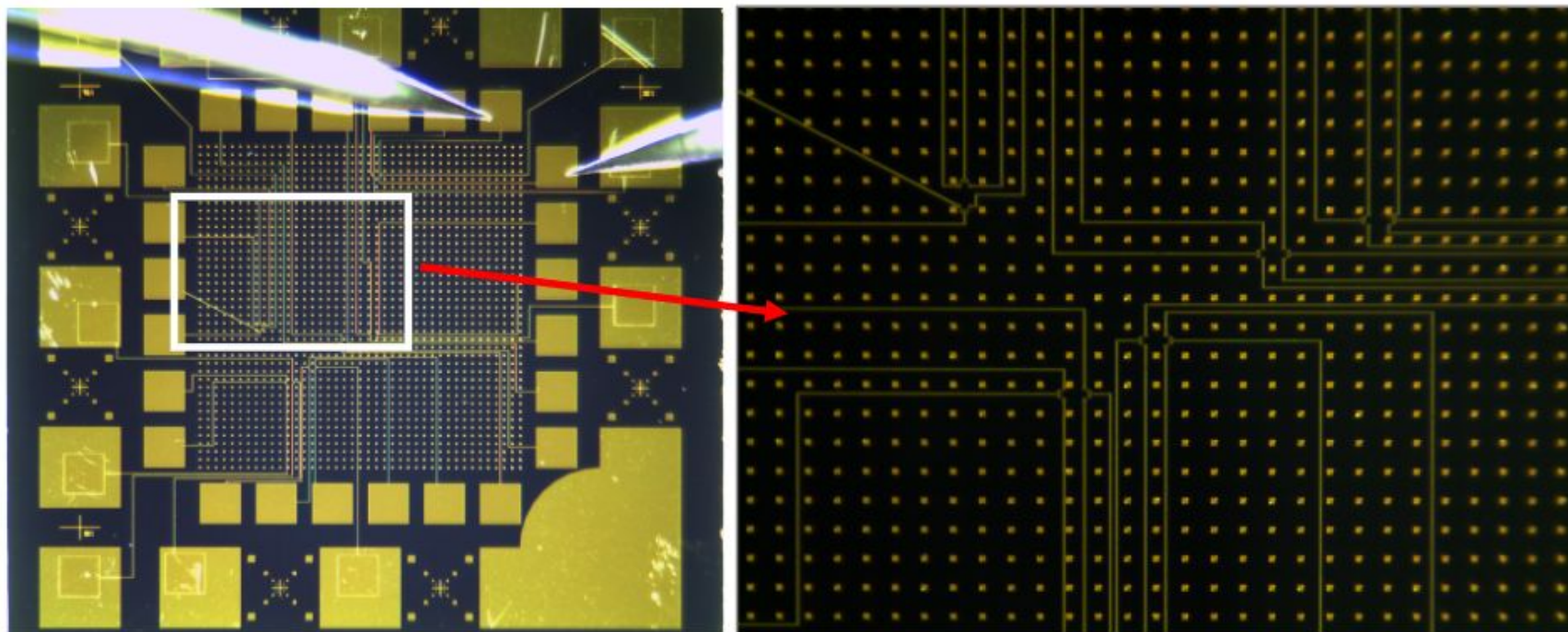


Fig. 8: Síntesis de BHT-Cu a partir de precursores de BHT y cobre.



# WP1



*Fig 9. Fabricación de dispositivos a partir de muestras de BHT-Cu.*



# WP1

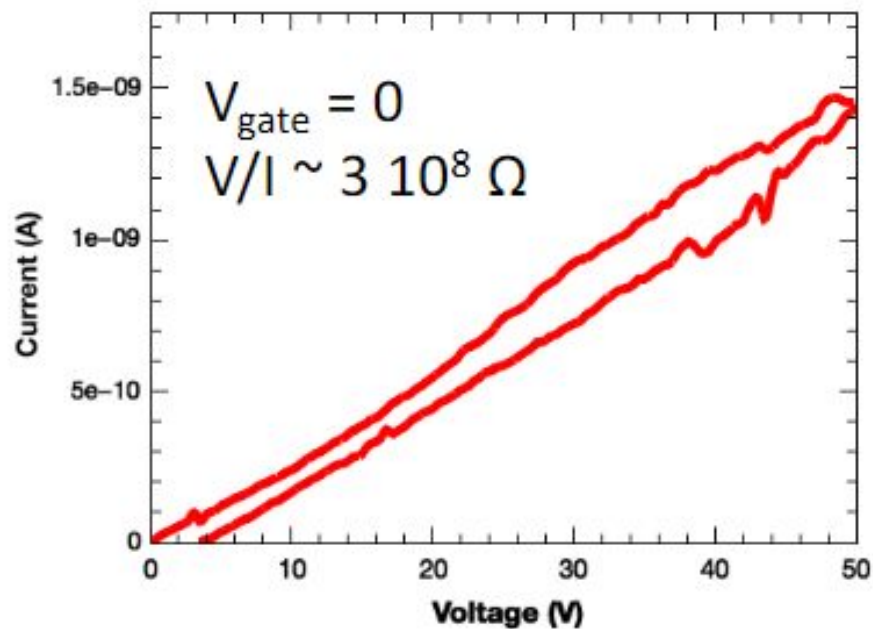
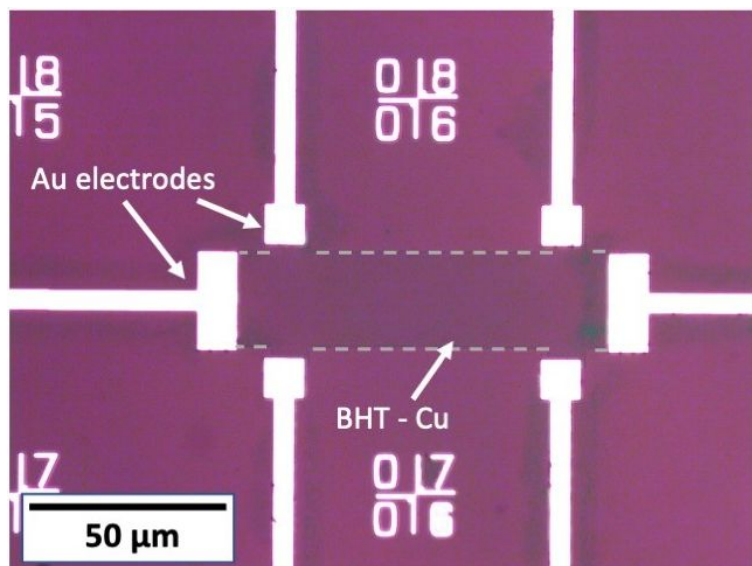
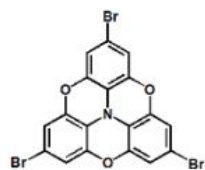


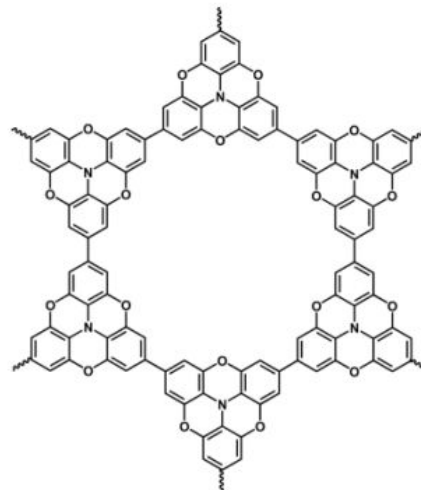
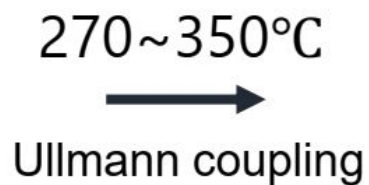
Fig 10. Vista cercana y curva IV de un dispositivo BHT-Cu



# WP1



TBTANG



P<sup>2</sup>TANG

Co. with TUBITAK

2D polymers with Dirac cone structures

Síntesis de P<sup>2</sup>TANG a partir de TBTANG.



# Conclusiones

- Proyecto de la máxima importancia metrológica, por incidir en la realización directa de las unidades de resistencia, intensidad de corriente y capacidad del Sistema Internacional de Unidades.
- Primer proyecto de Investigación Fundamental coordinado por España en el marco del programa EMPIR. Con una relevante participación nacional, no sólo del CEM sino también de IMDEA-Nanociencia, y resultado de la colaboración entre ambos institutos



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

# Agradecimientos

El proyecto EMPIR 20FUN03 COMET *Two dimensional lattices of covalent- and metal-organic frameworks for the Quantum Hall resistance standard* está financiado por el programa European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), cofinanciado por los estados participantes y el programa de investigación e innovación de la Unión Europea, Horizonte 2020.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, COMERCIO  
Y TURISMO

¡Gracias por su atención!  
¿Preguntas?

Para más información:  
[comet.imdea.eu](http://comet.imdea.eu)