

Aplicaciones del efecto Hall cuántico a termoelectricidad y determinación de gradientes térmicos

M.A. Real⁽¹⁾, A. Tonina⁽¹⁾, L. Arrachea⁽²⁾, D. Gresta⁽²⁾, W. Dietsche⁽³⁾, W. Wegscheider⁽³⁾

mreal@inti.gob.ar

⁽¹⁾Departamento de Metrología cuántica - INTI,

⁽²⁾ECyT - UNSAM,

⁽³⁾ETH Zürich

Palabras Clave: tecnologías cuánticas; efecto Hall cuántico; termoelectricidad; temperatura; metrología

INTRODUCCIÓN

El nuevo paradigma de tecnologías cuánticas se basa en utilizar propiedades de la física cuántica para diseñar y controlar dispositivos en los que principios cuánticos como la superposición de estados y el entrelazamiento son fundamentales para realizar una determinada tarea. Controlar estas propiedades permite mejorar la exactitud, velocidad y capacidad de diversos sistemas y dispositivos en campos tales como sensores y metrología, circuitos, comunicación, computación y simulaciones. El efecto Hall cuántico, que se utiliza regularmente para la realización del ohm, presenta características muy interesantes en este sentido. Entre ellas se destacan su robustez a cambios de temperatura, campo magnético y corrientes eléctricas y la direccionalidad de corrientes (quiralidad), entre otras.

En este trabajo presentamos resultados en el desarrollo de dispositivos termoelectricos, sistemas donde se generan respuestas eléctricas a partir de diferencias de temperatura. Para esto, se desarrollaron dispositivos micromaquinados para aplicar los gradientes térmicos y métodos de medición que nos permitieron determinar su respuesta. Se trabajó en ambientes criogénicos con campos magnéticos extremos, y en sustratos que hacen uso de las propiedades de dispositivos bajo efecto Hall cuántico. En particular hicimos uso de un diseño en forma de disco conocido como discos de Corbino [1].

OBJETIVOS

Se buscó desarrollar las técnicas de micromaquinado necesarias para producir los dispositivos. Se desarrollaron arreglos experimentales que permitieron la correcta medición de conductancias, termovoltajes y cambios de temperatura necesarios. Además se desarrollaron modelos teóricos para explicar

y predecir los termovoltajes y aproximar los gradientes experimentalmente medidos.

DESARROLLO

Los dispositivos utilizados fueron producidos a partir de cristales de tipo heteroestructuras de GaAs/AlGaAs. Por medio de técnicas usuales de litografía óptica, etching mojado y procesos optimizados de metalización se generaron dispositivos como los que se muestran en la Figura 1. Estos consisten en discos concéntricos definidos por contactos óhmicos, con un calentador resistivo central por fuera de la meseta que define la parte activa del sistema (2DES).

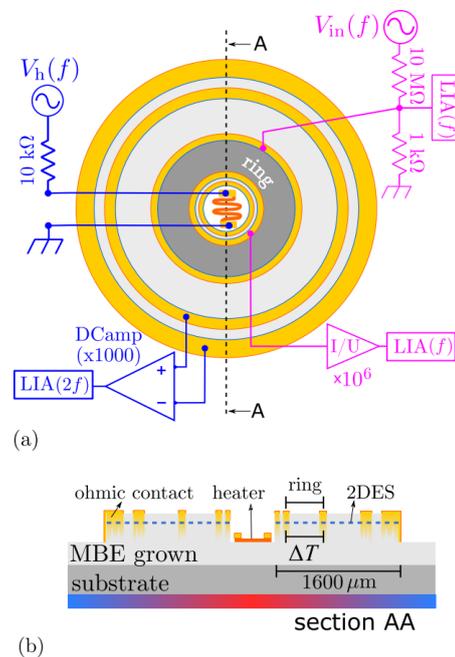


Figura 1: (a) Los dispositivos constan de diferentes discos concéntricos. Se detalla el arreglo experimental de medición de termovoltaje (azul) y de conductividad eléctrica (rosa). (b) Sección de un dispositivo, se indica el gradiente térmico a partir del calentador resistivo central incluido.

El calentador es excitado a una frecuencia seleccionada, la potencia disipada por éste

resulta en una diferencia térmica entre el centro de la muestra y el borde anclado al refrigerador criogénico, como se muestra en la Figura 1. La respuesta en segunda armónica del sistema se mide por medio de un amplificador de alta impedancia de entrada (Figura 1, azul), resultando en curvas como las que se muestran en la Figura 2. Así se obtienen mediciones del termovoltaje inducido por la diferencia de temperatura generada para diferentes campos magnéticos. Además se realizan mediciones independientes de la conductancia del sistema. Para ello, se utiliza un arreglo como el esquematizado en la Figura 1 (rosa), se aplica una tensión a un anillo y se mide la corriente a través del anillo de interés utilizando un conversor amplificador de corriente a tensión.

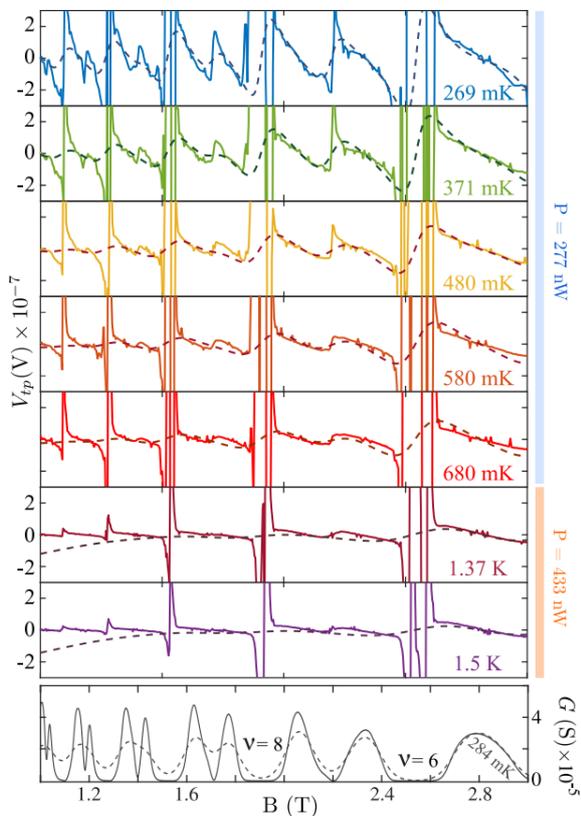


Figura 2: Respuesta termoléctrica (línea llena) y modelo desarrollado (línea puntada) para diferentes potencias y temperaturas base. Panel inferior, conductancia y modelo.

Finalmente se determinó el gradiente térmico inducido utilizando propiedades de la conductancia térmica. Establecido el campo magnético para un mínimo de conductancia (gap de movilidad), a la menor temperatura del crióstato, se realizaron mediciones de la evolución de dicho mínimo y la temperatura del sensor del crióstato para diferentes potencias aplicadas al heater y diferentes temperaturas de base del crióstato, tanto para el anillo más

interno como el más externo. Así se obtuvo una relación (calibración) de la diferencia de temperatura inducida en el dispositivo a partir de los cambios de conductancia medidos. En este sentido también se desarrollaron simulaciones numéricas por elementos finitos, basados en propiedades de estos materiales a las temperaturas de interés.

RESULTADOS

La medición del gradiente térmico así establecido resultó en un excelente acuerdo con las simulaciones por elementos finitos, como puede verse en la Figura 3.

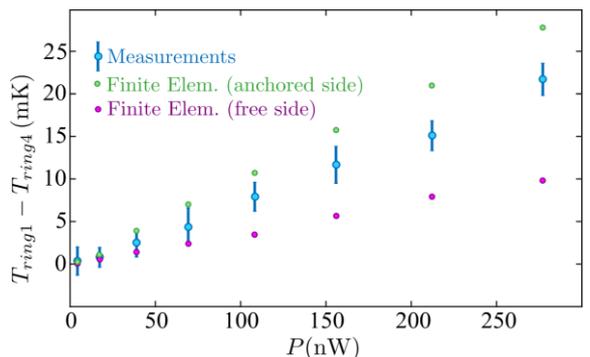


Figura 3: Gradientes térmicos medidos (azul) y modelados por elementos finitos (violeta y verde).

A partir de las mediciones de conductancia fue posible desarrollar un modelo teórico que predice el funcionamiento del sistema y que resulta también en un valor de gradiente en el mismo orden del indicado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se desarrollaron los métodos necesarios para producir los dispositivos prototipo. Fue posible generar y controlar los gradientes térmicos deseados utilizando los arreglos experimentales descritos, por medio de los cuales se midieron las respuestas termoeléctricas. A partir de estas respuestas se desarrolló un modelo que describe y predice su comportamiento (en los niveles de Landau) a diferentes temperaturas y potencias. A partir de mediciones de conductancia en un mínimo se determinaron gradientes de temperatura, que coinciden también con un modelo por elementos finitos desarrollado. Este comportamiento del dispositivo se ve muy promisorio para el desarrollo de un sensor térmico a muy baja temperatura basado en discos Corbino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. Real, D. Gresta, C. Reichl, J. Weis, A. Tonina, P. Giudici, L. Arrachea, W. Wegscheider, and W. Dietsche, "Thermoelectricity in Quantum Hall Corbino Structures", Physical Review Applied 14, 3 (2020).