

# Transporte elétrico em altas pressões para sondar novos supercondutores

Orientadora: Danusa do Carmo

Coorientadores: Ulisses Ferreira Kaneko e Jairo Fonseca Jr.

Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais

Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

## 1. Introdução

Medidas de propriedades físicas sob alta pressão tornaram-se bastante importantes em diferentes campos de pesquisa. Em particular na área de supercondutividade, em que novos supercondutores com temperaturas de transição cada vez mais elevadas tem sido descobertos. Esse é o caso dos supercondutores baseados em hidrogênio, como o LaH<sub>10</sub>, com temperatura crítica supercondutora de 250 K à 170 GPa [1], e mais recentemente o sistema Lu-H-N com supercondutividade próxima à ambiente, 294 K à 1 GPa [2]. A descoberta da supercondutividade nesses hidretos foi realizada sob alta pressão usando uma célula de bigorna de diamante (DAC), que é o dispositivo mais amplamente utilizado para geração de alta pressão atualmente.

Para avaliar as propriedades supercondutoras sob alta pressão são necessárias medidas de transporte elétrico usando a DAC. A forma convencional de montagem de uma DAC para experimentos de transporte elétrico sob pressão é feita posicionando manualmente fios condutores, usualmente ouro ou platina, na ponta (culet) de um dos diamantes, Figuras 1(a) e 1(b). No entanto, esse tipo de montagem é extremamente difícil, devido à necessidade de tamanhos de amostra pequenos (< 100 um) e à deformação dos eletrodos sob compressão. Além disso, o tempo gasto em uma montagem desse tipo pode levar semanas, o que inviabiliza experimentos de transporte sob pressão para usuários de síncrotron. Isso porque, além de transporte elétrico, técnicas de síncrotron como difração de raios X são fundamentais para provar a formação desses novos supercondutores em alta pressão, cujas muitas de suas estruturas já foram previstas teoricamente. Portanto, a combinação de experimentos de raios X e transporte elétrico é muito importante no estudo de novos supercondutores e ter esse know-how no Sirius poderá contribuir com os estudos de supercondutores em alta pressão.

## 2. Estado da Arte

Diferentes formas de preparação de DAC para medidas de transporte elétrico sob pressão têm sido exploradas por pesquisadores. As mais modernas se baseiam em usar diamantes com eletrodos fabricados diretamente sobre o culet, que agiliza a montagem da DAC para o experimento. Os eletrodos podem ser feitos usando um feixe de íons focalizados (FIB), que além de fabricar os eletrodos também corta a amostra no formato desejado [3], ou por litografia, de forma que precisamos apenas colocar a amostra sobre os contatos [4]. Essa última é particularmente interessante, pois esse processo pode ser feito sobre o diamante isolado, sendo que para as microestruturas por FIB o diamante precisa já estar assentado na DAC e nem todo equipamento pode ser adaptado para tal.

Uma forma criativa encontrada por R. Matsumoto e colaboradores [5] para realizar transporte elétrico sob pressão em DAC foi usar, no lugar de um dos diamantes padrão, uma bigorna quadrada NPD (diamante nano-policristalino) com quatro eletrodos fabricados por litografia,

Figura 1(c). Nessa configuração, a amostra é colocada sobre o NPD já contendo os eletrodos, seguida da camada isolante (que pode ser o próprio meio de pressão), o gasket, e então a pressão é aplicada pela bigorna padrão pontiaguda. Com essa DAC foram geradas pressões de até 30 GPa e os eletrodos não apresentam rachaduras após repetidas compressões. Esse tipo de DAC também pode ser uma ótima alternativa para experimentos em sincrotron visto que bigornas NPD tem se mostrado eficientes em experimentos de raios X [6].

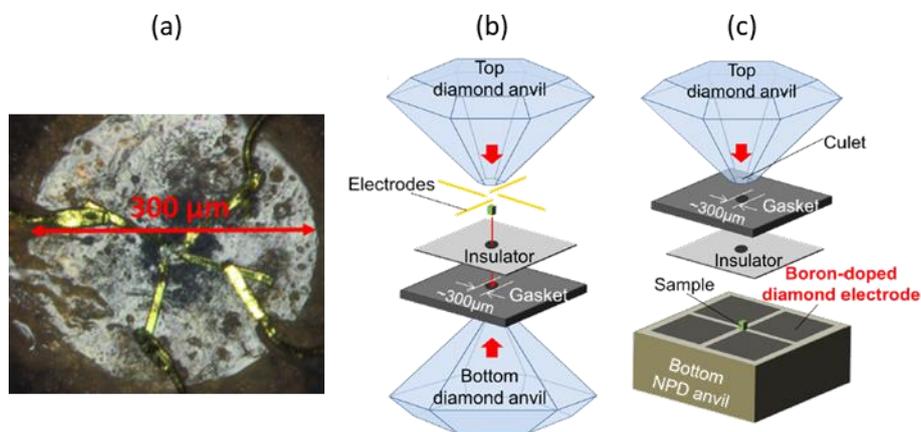


Figura 1: Configurações de DAC para medida de transporte elétrico sob pressão. Em (a) e (b) são mostrados detalhes da montagem convencional, com eletrodos de fios posicionados manualmente no culet do diamante [7, 5]. (c) Montagem da amostra sobre uma bigorna NPD com eletrodos feitos por litografia [5].

Nosso grupo possui larga experiência com DACs. No entanto, nossas DACs são usadas em experimentos com raios X e não são preparadas para experimentos de transporte elétrico. Nesse sentido, propomos esse projeto de bolsa de iniciação científica que tem como principal objetivo desenvolver uma DAC para experimentos de transporte elétrico sob pressão, cuja preparação seja facilitada e que permita executar essas medidas concomitantes com raios X. Ao longo da iniciação científica o bolsista terá a oportunidade de estar próximo de uma das maiores infraestruturas de pesquisa do país e trabalhar em um desenvolvimento muito relevante e desafiador, e poderá contribuir na busca por novos supercondutores, pois uma vez que a DAC esteja pronta, será disponibilizada para experimentos com as mais diversas amostras.

### 3. Objetivos

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma DAC para experimento de transporte elétrico sob pressão e que seja compatível com experimentos de difração de raios X sincrotron. Dessa forma, essa DAC irá permitir que um material possa ser estudado ao mesmo tempo, na mesma condição de pressão, dos pontos de vista eletrônico e estrutural.

### 4. Métodos

Essa proposta de iniciação científica é experimental e será realizada no Laboratório de Condições Termodinâmicas Extremas (LCTE/LNLS). Para o desenvolvimento do projeto o bolsista deverá dominar a preparação de DACs e a instrumentação para medidas de transporte elétrico, que estarão presentes em todas as etapas do projeto. Participará de preparações por litografia e fará experimentos em temperaturas criogênicas. Estudos em supercondutividade, busca por artigos na literatura e tratamento de dados serão necessários. Ao final desse projeto, almeja-se que seja

estabelecido um protocolo de preparação de DACs para medidas de transporte elétrico sob pressão, que seja prático e que possa ser executado junto com experimentos de linha de luz.

## 5. Cronograma

1º bimestre: Estudo do projeto e imersão no laboratório LCTE. Treinamento prático em altas pressões e domínio das técnicas auxiliares na preparação de experimentos em alta pressão.

2º bimestre: Preparação de DAC para experimento de transporte sob pressão. Domínio da fabricação e isolamento de gaskets, posicionamento de eletrodos e de amostra sobre eles.

3º bimestre: Experimento de transporte elétrico sob pressão em temperatura ambiente em amostra padrão. Conectar a DAC à equipamentos externos, como fonte de tensão e multímetro de bancada, medir a resistência elétrica da amostra e a posição do rubi em função do aumento da pressão. Participação e apresentação de trabalho no V CEC.

4º bimestre: Confecção de eletrodos por litografia. Determinar parâmetros para obter eletrodos por litografia que suportem experimentos com alta pressão. Avaliar design de eletrodos para obter bom sinal para medidas de transporte por quatro pontas.

5º bimestre: Experimentos de transporte elétrico sob pressão em baixa temperatura em amostra supercondutora. Preparar o criostato para o resfriamento da DAC, acoplar o sistema de rubi ao criostato para leitura da pressão in-situ. Carregar a DAC com um supercondutor e medir a resistência elétrica em função da temperatura para diferentes pontos de pressão.

6º bimestre: Transporte elétrico concomitante com raios X. Avaliar a compatibilidade da DAC de transporte elétrico com experimentos na linha de luz. Preparação e entrega do relatório.

## Referências

- [1] A. P. Drozdov et al., *Superconductivity at 250 K in lanthanum hydride under high pressures*. Nature 569, 528–531 (2019).
- [2] N. Dasenbrock-Gammon et al., *Evidence of near-ambient superconductivity in a N-doped lutetium hydride*. Nature 615, 244–250 (2023).
- [3] P. J. W. Moll, *Focused Ion Beam Microstructuring of Quantum Matter*. Annual Review of Condensed Matter Physics 9, 147–162 (2018).
- [4] C.-H. Ku et al., *Patterned diamond anvils prepared via laser writing for electrical transport measurements of thin quantum materials under pressure*. Rev. Sci. Instrum. 93, 083912 (2022).
- [5] R. Matsumoto et al., *Novel diamond anvil cell for electrical measurements using boron-doped metallic diamond electrodes*. Rev. Sci. Instrum. 87, 076103 (2016).
- [6] J. Purans et al., *Local electronic structure rearrangements and strong anharmonicity in YH<sub>3</sub> under pressures up to 180 GPa*. Nature Communications 12, 1765 (2021).
- [7] Fotografia cedida pelo pesquisador Dr. Ricardo D. dos Reis LNILS/CNPEN.