XXXIII Congresso de Iniciação Científica da Unicamp

Título da apresentação: Desenvolvimento de sistema de medida de junções Josephson para fabricação de Qubits

Autora: Mariana Heimbecher Arias - FEEC, UNICAMP
Orientador: Prof. Dr. Francisco Rouxinol - IFGW, UNICAMP

Palavras-chave: junções Josephson, sistemas de medida, micro e nanofabricação.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e aprimoramento de sistemas experimentais para caracterização de junções Josephson — elementos fundamentais em circuitos supercondutores — com aplicação em tecnologias quânticas. O estudo contempla medidas em temperatura ambiente e criogênica (4 K), com a implementação de instrumentação automatizada e protocolos para extração de resistência. Os resultados obtidos contribuem para o fortalecimento da infraestrutura nacional em ciência e tecnologia quântica.

1. Introdução

O ano de 2025 marca o centenário do nascimento da mecânica quântica moderna. Reconhecendo sua importância histórica e impacto na ciência e na tecnologia, a ONU declarou 2025 como o *Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quântica*. Dentro desse contexto, o presente projeto contribui com o desenvolvimento de tecnologias quânticas no Brasil, com foco na fabricação e caracterização de junções Josephson — elementos não lineares compostos por duas regiões supercondutoras separadas por uma barreira isolante ultrafina, frequentemente um óxido amorfo [4, 3].

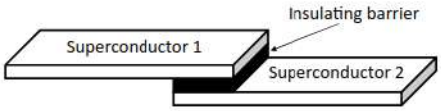

Figura 1: Representação esquemática de uma junção Josephson com barreira de óxido entre dois eletrodos supercondutores [4].

As junções Josephson estão na base da implementação de qubits supercondutores, sensores sensíveis a campo magnético e diversos dispositivos quânticos. Neste trabalho, objetivamos tanto a construção de sistemas de medida adequados para a caracterização elétrica dessas junções quanto o estudo de suas propriedades ôhmicas e de transição supercondutora, incluindo sua resistência diferencial e resposta a baixas temperaturas.

2. Sistema de Medida em Temperatura Ambiente

Em temperatura ambiente, a junção Josephson comporta-se como um resistor ôhmico, cuja resistência está associada à espessura e densidade do óxido formado [3]. Para a realização das medidas, foi desenvolvido um sistema autônomo com controle por *lock-in amplifier*, instrumento adequado para medições de pequenas variações de tensão em regime de baixa frequência.

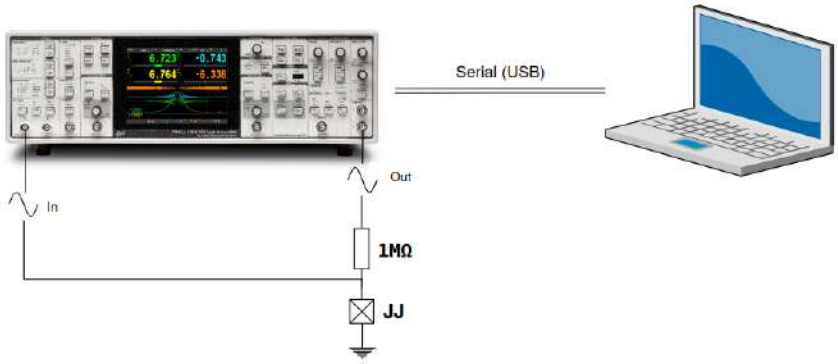

Figura 2: Esquema do circuito de medição com *lock-in amplifier*. Um resistor de 1 MΩ é inserido em série para limitar a corrente aplicada à junção.

A interface com o usuário foi programada em Python e organizada em um *notebook* Jupyter, utilizando uma biblioteca modular desenvolvida especificamente para o equipamento. Essa biblioteca compreende quatro funções principais: `teste_equipamento` (verifica a conexão com o dispositivo), `resolução` (define os parâmetros de varredura), `medição` (executa e coleta os dados), e `gráfico` (realiza ajuste polinomial e retorna o valor da resistência extraída).

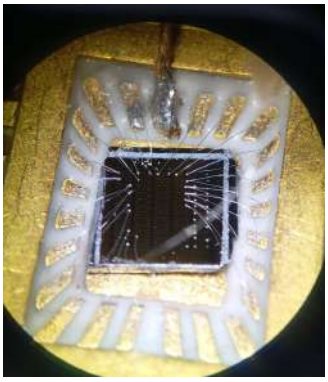

Figura 3: Amostra contendo múltiplas junções Josephson.

A amostra, contendo múltiplas junções Josephson, foi conectada ao sistema por meio de *wire bonding* em um porta-amostras adaptado. A Figura 4 mostra a montagem experimental e a execução da medida.

3. Sistema de Medida em Baixa Temperatura

Para caracterizar as propriedades supercondutoras das junções, projetou-se um novo porta-amostras compatível com medidas do tipo quatro pontas, permitindo a realização do método de Van der Pauw [2]. A amostra foi confeccionada em geometria quadrada para facilitar a extração da resistividade elétrica do filme de nióbio depositado.

As medições iniciais foram realizadas em criostato a 4 K, embora os primeiros resultados não tenham evidenciado a transição supercondutora esperada para o nióbio. Hipóteses incluem falhas no processo de deposição, contaminações ou espessura inadequada do filme. O sistema de medição e o software de controle para o analisador de parâmetros ainda se encontram em fase de calibração.

A figura 7 ilustra a montagem do sistema de medida da amostra conectada ao porta amostra atravez de *wire bondering*.

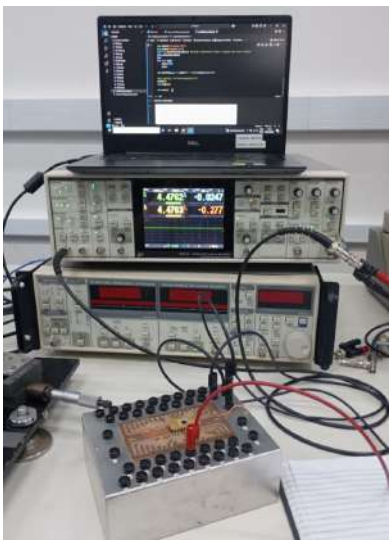

Figura 4: Sistema de medição em operação durante aquisição de dados em temperatura ambiente.

Figura 5: Montagem da amostra conectada via *wire bonding* ao porta-amostras.

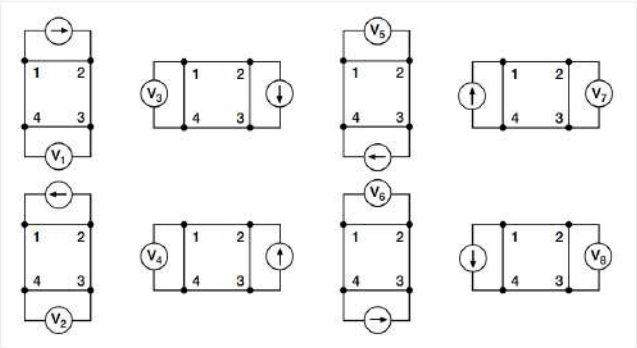

Figura 6: Esquema da geometria de medição Van der Pauw em amostras quadradas [2].

4. Resultados

As medidas em temperatura ambiente revelaram comportamento linear corrente-tensão, indicando resposta ôhmica compatível com a presença da barreira isolante. A Figura 8 ilustra os dados obtidos com o sistema automatizado.

Já nas medições criogênicas, a ausência da queda abrupta de resistência sugere que a amostra não atinge o estado supercondutor, como seria esperado próximo a 9.2 K [1], temperatura crítica do nióbio puro. Estão em andamento novos testes e análises para verificar a integridade dos filmes e a performance do sistema criogênico.

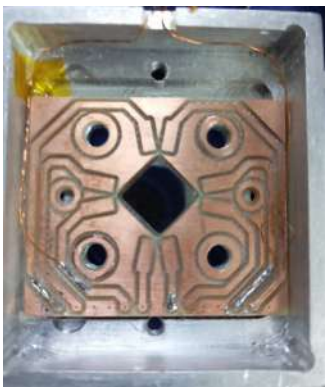

Figura 7: Montagem da amostra de Nióbio conectada via *wire bonding* ao porta-amostras.

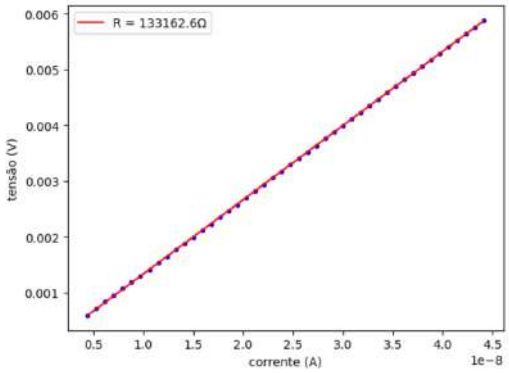

Figura 8: Resultado típico de resistência medida em junções Josephson à temperatura ambiente.

5. Conclusão

O sistema de medida em temperatura ambiente encontra-se plenamente funcional, permitindo a caracterização confiável da resistência elétrica de junções Josephson. Já o sistema de baixa temperatura requer ajustes tanto na deposição das amostras quanto nos procedimentos de medida, de forma a confirmar a transição supercondutora. Este projeto representa um passo importante no fortalecimento da infraestrutura nacional voltada ao desenvolvimento de circuitos quânticos supercondutores e na formação de recursos humanos em instrumentação avançada.

Agradecimentos

Os autores também agradecem o suporte fornecido pelo CCSNano - Unicamp e pelo LAMULT - IFGW–Unicamp. Os autores são igualmente gratos à ESSS – Engineering Simulation and Scientific Software Ltd. pelo acesso à licença do Ansys-HFSS, essencial para as simulações eletromagnéticas realizadas neste trabalho.

Este trabalho contou com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio dos projetos 2017/08602-0, 2017/22037-4, 2017/22035-1 e 2022/07699-9; do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Sistemas Micro e Nanoestruturados (INCT–NAMITEC, processo 406193/2022-3); Mariana Heimecher Arias agradece pelo apoio com bolsa e apoio financeiro à Associação para Promoção da Excelência do Software Brasileiro, SOFTEX (processo 01245.002636/2023-81).

Referências

[1] Joonyoung Choi et al. "Enhancing the critical temperature of strained Niobium films". Em: *Materials Research Express* 7 (jul. de 2020). DOI: 10.1088/2053-1591/aba84a.

[2] *Making van der Pauw Resistivity and Hall Voltage Measurements Using the 4200A-SCS Parameter Analyzer*. URL: https://download.tek.com/document/1KW-60641-1_van_der_Pauw_Resistivity_Hall_Voltage_4200A-SCS_Application_Note_092419.pdf.

[3] Simon Schmidlin. "Physics and Technology of small Josephson juncions". Tese de doutoramento. Royak Holloway, University of London, Octuber 27, 2013.

[4] Lujun Wang. "Fabrication stability of josephson junctions for superconducting qubits". Tese de mestrado. Technische Universitat Munchen, 2015.