



Título da apresentação: Automatização de um *Spinner* para Fotolitografia

Autora: Mariana Heimbecher Arias - FEEC, UNICAMP

Orientador: Prof. Dr. Francisco Rouxinol - IFGW, UNICAMP

Palavras-chave: IHM, *spinner*, fabricação.

1 Introdução

A indústria de micro e nanofabricação de *chips* tem avançado significativamente, tornando-se indispensável em diversas áreas devido à sua utilização, incluindo computação, telecomunicações, automação industrial, saúde, e muitos outros setores [2]. Com o desenvolvimento contínuo e acelerado da tecnologia dos semicondutores. A modernização de equipamentos antigos com atualizações e automação é essencial para manter a competitividade e eficiência em diversos setores industriais. Esses equipamentos, embora robustos e confiáveis, muitas vezes carecem das funcionalidades avançadas e da precisão oferecidas pelas tecnologias modernas. Atualizá-los para incorporar sistemas automatizados pode resultar em melhorias significativas na precisão, repetibilidade e velocidade dos processos, além de reduzir a necessidade de intervenção humana e minimizar erros operacionais. Além disso, a automação facilita a integração desses equipamentos em ambientes de produção mais amplos, permitindo uma melhor coleta de dados e monitoramento em tempo real, o que é crucial para a manutenção preditiva e a otimização contínua dos processos. Dessa forma, a atualização de equipamentos antigos não só prolonga sua vida útil, mas também melhora a eficiência e a qualidade dos produtos fabricados.

Atualmente, a utilização desses dispositivos é indispensável fora do cotidiano e, portanto, cada vez mais desejada para fins acadêmicos, científicos, militares e rotineiros. Com essa alta demanda, é preciso dizer que essa tecnologia é de acesso principal de países de primeiro mundo, devido aos altos investimentos em pesquisa e indústria de base [4]. Portanto países ficam mais escassos desse mercado devido e à dificuldade de industrialização e dos custos de importação.

No que se refere às tecnologias atuais, o Brasil é um grande importador [1]. Isso influencia os processos de fabricação que demandam uma quantidade de equipamentos qualificados, necessitando de um alto custo para a compra e importação desses dispositivos. Uma dessas máquinas de fabricação é o *spinner*, que tem por funcionamento rotacionar uma amostra para que o resiste químico depositado em sua superfície apresente uma espessura específica, sendo muito necessário para realizar a litografia e assim fabricar amostras de silício. É crucial que o *spinner* esteja calibrado para uma padronização e confiabilidade do equipamento [3].

Considerando tanto os panoramas econômicos quanto a importância do equipamento para o laboratório no que diz respeito à fabricação, o projeto tem por objetivo adaptar um *spinner* para que seja possível realizar o controle e a automatização de seus processos a partir de uma IHM (*Interface Homem Máquina*). Essa adaptação é uma continuação de uma modificação anterior, na qual o *spinner* passou a ser controlado digitalmente por meio de um microcontrolador, resultando em alterações no circuito original do *spinner*. Sendo controlado inicialmente de forma analógica era difícil ter uma reprodutibilidade nas receitas e nos resultados desenvolvidos, com o programa desenvolvido é possível ter várias receitas prontas, diminuindo a chance de erros e aumentando a reprodutibilidade dos filmes feitos. Outro fator é a de padronização e disponibilização dos códigos e do sistema utilizado (disponibilizado no apêndice A) possibilitando que outros laboratórios utilizem esse mesmo sistema de medida.

Portanto, o trabalho atual teve como objetivo o desenvolvimento da programação de uma IHM, sua interligação com a primeira modificação. As consequências dessa introdução no sistema, bem como a instalação e utilização do *spinner* na sala limpa do Laboratório de Dispositivos Quânticos

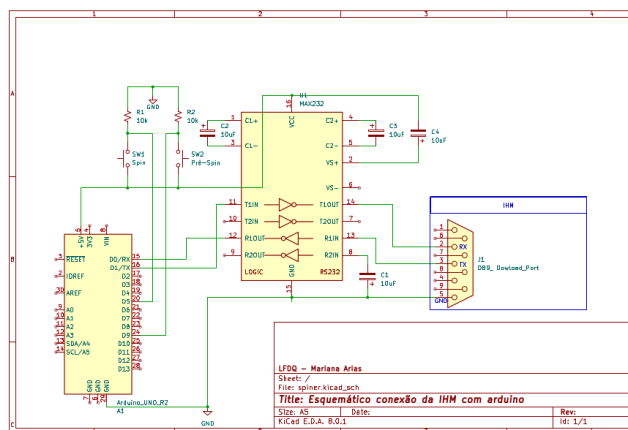


Figura 1: Esquemático do sistema de controle do *spinner*

(LFDQ) do IFGW da Unicamp são apresentadas, assim como a utilização do programa desenvolvido para controle do sistema de controle dos parâmetros de deposição e armazenamento das informações receitas utilizadas.

2 Metodologia

O sistema como um todo pode ser visualizado na Figura 1, no qual contou com várias etapas: desenvolvimento de *software* da IHM para controlar e modificar receitas, modificação da programação do microcontrolador 328P, instalação de botões externos seguindo no sistema, confecção de PCB para comunicação entre o Arduino e a IHM e sua instalação na sala limpa, assim como testes de todas as partes citadas formando uma harmonia no sistema.

2.1 Programa

2.1.1 IHM

A IHM (*Interface Homem Máquina*) tem o objetivo de facilitar a comunicação e interação entre o ser humano e o sistema elétrico ou eletrônico utilizado para controlar algum dispositivo. Isso ocorre através de uma tela *touch* interativa. Como ela é fabricada para esse fim, facilita bastante a utilização de usuários, visto que não necessitam de computadores nem acessar diferentes *softwares* com diversas operações. Basta ligar a IHM que ela terá a interface programada, o que tende a ser intuitivo, dependendo do programador.

Para iniciar as atividades nesse dispositivo foi necessário realizar o *download* do *software* TouchWin (Download). Inicialmente, é possível testar funções básicas no *software* sem ter ou conectar o mecanismo no computador utilizando a função de simulação dentro do programa. É importante salientar que algumas funções funcionam somente com um dispositivo conectado, como passagens de alguns parâmetros para memórias internas de dispositivos conectados.

Para começar a controlar o dispositivo foi necessário realizar o *download* do *driver* no mesmo link do *software*. Desse modo, basta realizar um programa simples com alguns comandos que podem ser encontrados no Manual do software e realizar o primeiro teste na comunicação.

A IHM utilizada é um pouco limitada nas suas funcionalidades, operando através de botões e controle de registradores a partir deles, ou seja, ao apertar um botão, uma operação será feita, seja ela abrir uma janela, salvar dados ou mudar registradores de valor. Os registradores utilizados foram de memória volátil e de memória permanente para salvar os dados e mantê-los sem qualquer alteração mesmo que o dispositivo tenha sido desenergizado.

Outro artifício necessário foi a utilização de uma função macro, semelhante a um *script* porém em um formato extremamente específico no *software*. Ela foi utilizada para realizar uma operação

sequencial, para calcular os tempos necessários, visto que para achar um tempo posterior é necessário um tempo antecessor, sendo esse o centro do programa.

2.1.2 Receitas

As receitas são definidas por 7 parâmetros: rampa, velocidade e tempo tanto de *spread* como de *spin*, assim como a desaceleração. Esses parâmetros são utilizados para calcular os tempos e as velocidades nas quais o *spinner* deve girar, para que assim ele forme a espessura necessária de resiste.

$$\begin{aligned}T_1 &= V_{spread}/R_{spread} \\T_2 &= T_1 + T_{spread} \\T_3 &= (V_{spin} - V_{spread})/R_{spin} + T_2 \\T_4 &= T_3 + T_{spin} \\T_5 &= T_4 + V_{spread}/Desaceleração\end{aligned}$$

As receitas e seus parâmetros devem ficar salvas na própria IHM para que outros pesquisadores possam usar uma receita criada e testada mesmo que o dispositivo desligue. Deste modo, os registradores que armazenam esses dados são todos de memória persistente.

Para que o processo de selecionar receitas e calcular os tempos não ficasse confuso ao usuário, foram inseridas funções nos botões de salvar e voltar para a janela inicial, escondidas do usuário porém de extrema importância para o funcionamento do algoritmo. Elas, em primeiro momento, foram colocadas nos botões de inicializar receita e pré-*spin*, porém com a instalação de botões externos foi necessário que o mesmo processo ocorresse ao selecionar um botão externo, assim como ocorre quando selecionados os botões da IHM. Portanto, essas funções foram transferidas para os botões de "salvar" e "voltar" como descrito.

2.2 Sistema completo

Ao entrar no sistema, o usuário tem a possibilidade de testar o pré-*spin* e selecionar sua velocidade, verificando se o *DY* está bem colocado e se a velocidade está correta para realizar a deposição do resiste. Após esse processo, ele entra em modificar receita, selecionando e salvando qual receita será utilizada para realizar a operação.

Quando o pesquisador utilizar o botão de salvar e voltar para a tela inicial, o sistema realiza os cálculos de tempos nos quais o microcontrolador deve utilizar para controlar o *spinner*. Após esse procedimento, esses valores precisam ser transmitidos ao microcontrolador, e para isso foi utilizado um Arduino como intermediário, assim os dados precisam ser transformados para o formato *TTL* (Lógica *transistor-transistor*). Dessa forma, foi utilizado o conversor de nível *max232* e fabricada uma *PCB* (Placa de Circuito Impresso) para embarcar os componentes externos que esse *CI* necessita para seu funcionamento.

Após a transformação dos dados, eles se comunicam com o microcontrolador através do protocolo RS232 utilizando os pinos RX e TX do Arduino. Dessa forma, é possível se comunicar com o *spinner* através dos pinos digitais e analógicos.

3 Resultados

A programação da IHM se resume a praticamente 4 abas: a tela inicial, inicialização da receita, modificação e escolha de receitas, e as configurações de comunicação com o Arduino.

3.0.1 Tela inicial

A tela inicial se resume a um texto qualquer e a um botão de entrar (Figura2), responsável por levar o usuário à janela de inicialização de receitas, assim como resetar os bits característicos relativos ao início da receita e o pré-*spin* utilizados no programa do Arduino para garantir que o *spinner* esteja resetado independente do estado anterior quando o programa for inicializado.

Todos os programas e arquivos desenvolvidos nesse projeto estão disponíveis no GitHub.



Figura 2: Janela inicial da IHM

3.0.2 Janela de inicialização de receitas

Após a inicialização, a janela de inicialização de receitas será aberta. Nela é possível acessar as janelas de configuração e de modificação e escolha de receitas. Nela também é possível determinar a velocidade de pré-*spin*, ler a velocidade do *spinner* e acionar pré-*spin* e receita. Os LEDs embutidos no programa são responsáveis pela sinalização visual de quando uma das tarefas é acionada.

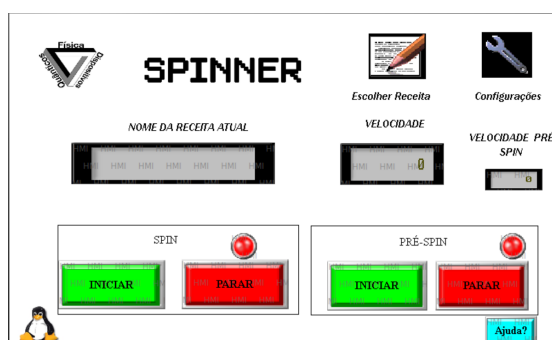


Figura 3: Janela de inicialização de receitas e pré-*spin*

3.0.3 Janela de modificação de receitas

Na janela de modificação de receitas é possível escolher qual receita o usuário irá utilizar, assim como modificá-la.

O índice mostrado entre as setas define qual receita o usuário está trabalhando, 0 para uma receita, 1 para outra e assim por diante. Para modificar algo na receita basta modificá-lo diretamente nas opções de modificação de receita e para selecionar qual receita será utilizada, basta selecionar as setas para cima e para baixo, escolhendo a receita desejada.

Como já descrito, são necessários cálculos de tempos em cada uma das tarefas no *spinner* e, portanto, para que o programa realize esses cálculos e armazene corretamente para os registradores, é necessário apertar o botão de "salvar", salvando todas as informações pertinentes.



Figura 4: Janela de modificação e escolha de receitas

3.0.4 Janela de ajuste de parâmetros

Essa janela possui os parâmetros necessários para que os valores de dados sejam transformados corretamente tanto para o Arduino quanto para a IHM.

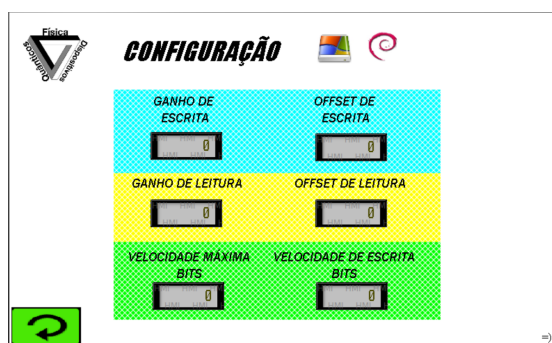


Figura 5: Janela de configuração para calibragem do sistema de velocidade do *spinner*

Após os testes individuais e os testes de bancada, foi realizado um teste no sistema instalado na sala limpa, utilizando a bomba de vácuo e todo o sistema por si só. O sistema funcionou corretamente. O próximo passo é realizar a caracterização do dispositivo.

4 Conclusão

O sistema funciona corretamente, conseguindo alcançar velocidades muito próximas das desejadas. Portanto, o próximo passo é realizar a caracterização do dispositivo, através de aplicação de resiste utilizando o pré-*spin* e realizando a perfilometria nas amostras, validando seu sistema. Após esse processo é possível começar a fabricação, iniciando os estudos na fabricação de junções Josephson.

Referências

- [1] Adriana Pacheco Aurea e Antonio Carlos F Galvão. “Importação de tecnologia, acesso às inovações e desenvolvimento regional: o quadro recente no Brasil”. Em: (1998). URL: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2754/1/td_0616.pdf.
- [2] Yang Kyu Choi. *Nanofabrication technologies and novel device structures for nanoscale CMOS*. University of California, Berkeley, 2001.
- [3] Rafaela Cristina Sanfelice e Débora Tereza Balogh. “Filmes por centrifugação (Spin-Coating)”. Em: *Nanotecnologia aplicada a polímeros* (2022), p. 614.
- [4] Adroaldo Moura da Silva. “Tecnologia nacional: problemas e perspectivas”. Em: *Revista de Administração de Empresas* 14 (1974), pp. 101–111. URL: <https://www.scielo.br/j/rae/a/HjvDtSxm36rhyyQdWmr6DtD/>.