5
Conclusões

Este trabalho de mestrado teve como principal objetivo a implementação de um sistema de medição do efeito de magnetoresistência (MR) em dispositivos baseados em semicondutores orgânicos. A execução desta tarefa tem grande valor dentro do cenário nacional de pesquisa em eletrônica orgânica visto que poucos grupos de pesquisa no país desenvolvem trabalhos de investigação das propriedades magnéticas destes dispositivos. De fato, segundo o nosso conhecimento, no presente momento, nenhum grupo de pesquisa no país possui um sistema semelhante ao implementado.

Os principais resultados obtidos neste trabalho foram:

(i) A implementação do sistema de medição da MR nos dispositivos orgânicos

(ii) A determinação da dependência do efeito de magnetoresistência nos dispositivos produzidos com a amplitude do campo magnético alternado.

(iii) A determinação da não-dependência do efeito de magnetoresistência com o ângulo formado entre o plano do substrato e a direção do campo magnético contínuo (figura 4.1, p. 68).

(iv) A investigação da influência da frequência de oscilação do campo magnético alternado sobre a MR nos dispositivos produzidos.

(v) O estudo do comportamento da MR em função da degradação dos dispositivos orgânicos.

(vi) A investigação do efeito de magnetoresistência em função de diversos materiais orgânicos utilizados nas diferentes camadas dos dispositivos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912572/CA

O sistema de medição utiliza a técnica de modulação do campo magnético, na qual um campo magnético alternado de frequência em fase com amplificador *Lock-in* é utilizado para detectar o sinal da magnetoresistência. Para assegurar que este sistema é capaz medir o sinal de MR nos dispositivos produzidos sem interferir ou introduzir sinais espúrios na coleta dos dados, foi realizada uma série de medições testes. Os principais parâmetros deste sistema que estão associados aos sinais indesejáveis são: a amplitude do campo magnético alternado, a frequência de oscilação deste campo magnético alternado e o ângulo (θ) entre o plano do substrato e a direção do campo magnético contínuo. Os estudos realizados de investigação da influência da amplitude e da influência da frequência do campo magnético alternado sobre a MR não forneceram resultados conclusivos. Para o caso da dependência deste efeito com a amplitude do campo alternado, ficou evidente a necessidade da realização de um número maior de medições nas quais o valor desta amplitude deve variar desde poucos militeslas até centenas de militeslas. Já para o caso da dependência da MR com o valor da frequência de oscilação do campo alternado, é importante realizar algumas medições com valores de frequências desde dezenas de Hz, como já realizado, até dezenas de GHz a fim de averiguar a hipótese de que o campo magnético alternado pode interferir no processo de interação do campo hiperfino da molécula orgânica com spin da carga elétrica.

A escolha do valor da frequência também está relacionada com o surgimento de sinais espúrios no processo de detecção, que acreditamos ter origem na indução de uma corrente no circuito do dispositivo causado pela bobina geradora do campo magnético alternado. Para aperfeiçoar o sistema de detecção do sinal da MR dos dispositivos orgânicos será necessária a adição, neste circuito, de um filtro de frequências ou de um dispositivo que seja capaz de anular a corrente induzida pela bobina.

Os resultados obtidos com o estudo da influência do ângulo θ sobre o efeito de MR nos dispositivos produzidos foram satisfatórios. Não foi observada uma dependência do feito de MR com o ângulo θ. Este resultado está em acordo com os trabalhos publicados na literatura e mostra que o sistema implementado não introduz qualquer tipo de sinal indesejado devido a este parâmetro. Além disso, esta não dependência com o ângulo θ mostra que este efeito deve ter origem em processos de interação do spin do elétron com o campo magnético aplicado.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912572/CA

Foram conduzidos diferentes estudos do comportamento da MR em função dos materiais orgânicos usados para a construção dos dispositivos orgânicos. Neste caso cabe frisar o fato intrigante de que a magnitude da MR medida em todos os dispositivos fabricados é uma ordem de grandeza menor do que o reportado na literatura. Acreditamos que este comportamento seja devido à exposição atmosférica sofrida pelo dispositivo logo após a sua fabricação. No entanto, para compreender a origem deste comportamento, está sendo programado um estudo sistemático de produção e encapsulamento dos dispositivos orgânicos em um ambiente com atmosfera inerte.

O estudo da influência da camada transportadora de buracos sobre a MR nos dispositivos produzidos revelou uma não-dependência deste efeito com material semicondutor utilizado. Este resultado é de grande valor para a compreensão dos processos que originam o efeito de MR. Note que as moléculas orgânicas utilizadas como camada transportadora de buracos apresentam estrutura molecular semelhante à molécula de Alq_3 utilizada como camada emissora. Considerando os modelos que explicam a origem da MR apresentados nesta dissertação, fazemos a seguinte proposição: por que o processo de interação do campo hiperfino da molécula orgânica com o spin da carga elétrica (ou do éxciton) e o campo magnético contínuo não ocorre também na camada transportadora de buracos mesmo que de forma menos significativa. Para responder esta questão, este estudo segue em andamento e um artigo está sendo preparado para a publicação dos resultados apresentados nesta dissertação.

Os estudos preliminares de investigação da MR em dispositivos cuja camada emissora/camada transportadora de elétrons utiliza complexos de terras-raras revelaram a existência do efeito. Estes resultados são muito interessantes visto que estes complexos apresentam um mecanismo de transferência de energia via efeito antena e são seu processo de emissão ocorre através do decaimento de estados excitados de tripleto. Além disso, a magnitude da MR medida para os dispositivos baseados nestes materiais é da mesma ordem de grandeza que a MR medida para os dispositivos baseados em moléculas de baixo peso molecular. Alguns trabalhos da literatura afirmam que a intensidade do efeito de MR para moléculas que apresentam um forte acoplamento spin-órbita deve ser pequena. No entanto, os resultados obtidos neste trabalho mostram um comportamento diferente.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912572/CA

Os resultados preliminares apresentados nesta dissertação para o complexo Eu(bipy), sintetizado no Brasil, são inéditos e confirmam a existência da MR também em compostos onde os estados excitados de tripleto são acionados. Um estudo sistemático está sendo realizado a fim de validar os resultados preliminares obtidos e para tentar esclarecer o comportamento da MR nestes materiais.

O estudo da eficiência do encapsulamento do dispositivo orgânicos foi importante para determinar que o adesivo epóxi *Araldite* é melhor selante que os outros adesivos utilizados. Este resultado foi muito importante para este trabalho visto que os dispositivos produzidos sofrem exposição atmosférica e necessitam ser encapsulados para minimizar os efeitos de degradação sofridos durante a medição da MR.

A investigação da influência da degradação por exposição atmosférica dos dispositivos encapsulados revelou que o dispositivo encapsulado continua apresentando o efeito de MR por um período de tempo de pelo menos três meses. Este resultado é bastante expressivo e mostra que o encapsulamento com o adesivo *Araldite* é eficiente. No entanto, o processo de degradação dos dispositivos orgânicos é bastante complexo e os mecanismos envolvidos na sua origem não estão completamente esclarecidos. Por isso, um estudo comparativo entre dois dispositivos, um encapsulado e um exposto, será realizado a fim de validar os resultados obtidos através dos estudos apresentados neste trabalho.

Vale destacar também o resultado significativo obtido com o dispositivo 1 (p. 68) que apresentou uma sensibilidade de aproximadamente 4mV/mT, para a faixa de 2mT até 10mT, comparado com a sensibilidade do dispositivo comercial utilizado para a medição dos campos magnéticos neste trabalho que apresenta uma sensibilidade de 100mV/mT para a faixa de 0mT até 30mT. Este dispositivo 1, apesar de ter sofrido degradação antes de seu encapsulamento, apresenta uma sensibilidade ao campo magnético duas ordens de grandeza menor que o dispositivo comercial utilizado.

Como conclusão geral deste trabalho, é possível dizer que o sistema implementado representa um grande passo na direção da pesquisa das propriedades magnéticas dos semicondutores orgânicos e também um grande passo na direção da produção de novos sensores de campo magnético. Com o sistema implementado nosso grupo poderá contribuir significativamente para a explicação da origem deste efeito de MR nos dispositivos orgânicos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912572/CA

5.1. Trabalhos futuros

(i) Investigar o efeito da MR nos dispositivos orgânicos como função da frequência de oscilação do campo magnético alternado para uma faixa de frequências de dezenas de Hz até centenas de GHz.

(ii) Desenvolvimento da técnica de encapsulamento a partir de novos adesivos a fim de estender o período de tempo de funcionamento do dispositivo.

(iii) Desenvolvimento de um estudo sistemático do comportamento da MR como função de diferentes complexos de terras-raras a fim de tentar esclarecer os processos que originam este efeito neste materiais.

(iv) Investigar a MR nos dispositivos orgânicos produzidos em ambiente inerte como função da temperatura. Acreditamos que com a redução da temperatura do dispositivo será possível realizar a medição do efeito de MR sem a utilização da técnica de modulação do campo magnético. Neste caso, esperamos obter um sinal devido à MR do dispositivo livre de interferências da rede elétrica e de sinais espúrios introduzidos pelo sistema de medições.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0912572/CA