UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

PRO REITORIA DE PESQUISA E POS-GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTIFICA

PROPRIEDADES OPTO-ELTRÔNICAS DE JUNÇÕES P-i-N INJETORAS DE SPIN

BOLSISTA: CARLOS EDUARDO DE ALMEIDA BRITO,CNPq

MANAUS

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

PRO REITORIA DE PESQUISA E POS-GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTIFICA

RELATORIO FINAL

PIB-E/00008/2009

PROPRIEDADES OPTO-ELTRÔNICAS DE JUNÇÕES P-i-N INJETORAS DE SPIN

BOLSISTA: CARLOS EDUARDO DE ALMEIDA BRITO,CNPq

ORIENTADOR: Prof Dr EDUARDO ADRIANO COTTA

MANAUS

2010

Sumário:

Resumo 1

Introdução **2**

Revisão Bibliográfica 3

Métodos utilizados 5

Resultados e Discussões 6

Conclusão 8

Referencia Bibliográfica..... 9

Resumo

Vamos analisar as propriedades da amostra crescida, tais como seu comportamento ao passar por ela um campo elétrico (Efeito *Stark*), onde veremos que aplicando um campo elétrico externos vamos ter uma deformação, o potencial deixa de ser quadrado e passa a ter uma forma triangular, resolvemos de forma analítica os autovalores de energia dentro do poço. Verificamos também quais fenômenos acontece ao inserir na superfície da amostra um contato metálico (Barreira *Schottky* ou contato ôhmico). Observamos de forma tanto experimental quanto teórica o comportamento da tensão *versus* corrente na superfície da amostra.

Introdução

Heteroestrutura são estruturas que envolvem a sobreposição de mais de uma espécie de material. A figura 1(a) ilustra um tipo de heteroestrutura com as ligas de **AlAs** com diferentes concentrações relativas de **Ga** e **Al**. Na figura 1(b) temos representado o poço quântico da nossa heteroestrutura com suas barreiras e a relação do potencial em função da direção de crescimento da amostra.

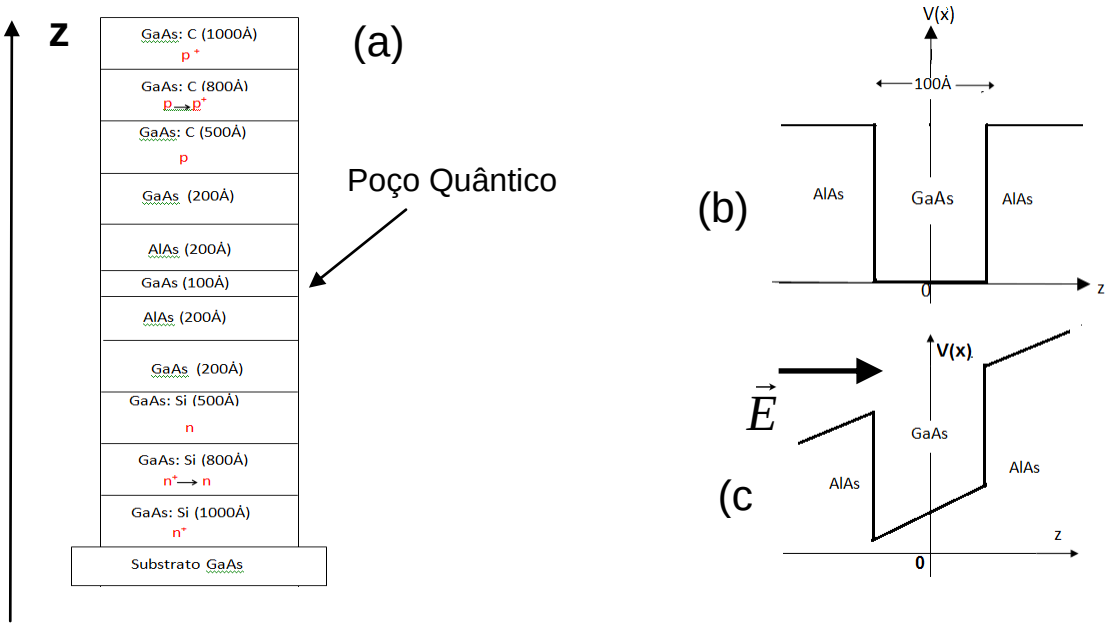

Figura 1: (a) Amostra crescida no laboratório de MBE da USP-SP. (b) Poço Quântico de GaAs com barreiras de AlAs. (c) Poço Quântico depois da aplicação de um capo elétrico externo.

Para o transporte eletrônico através da amostra, indicada na figura 1(a), necessitamos realizar contatos elétricos nas suas extremidades e aplicar um campo elétrico. Entretanto ao inserir um contato metálico temos uma junção metal-semicondutor, onde a principal característica é a de formação de uma barreira de potencial elétrico na interface da união, conferindo propriedades retificadoras, esse tipo de barreira chama-se barreira *Schottky.* A barreira *Schottky* ocorre pelo fato do metal e do semicondutor terem funções trabalhos diferentes, criando um potencial de contato devido à transferência de elétrons entre os materiais na interface. Devido ao ordenamento das cargas, as bandas de condução e de valência no semicondutor próximas à junção são distorcidas pela criação de cargas espacialmente distribuídas (vide figura 2).

Revisão Bibliográfica

Na figura 2 temos um esquema da formação da junção metal-semicondutor (tipo n), considerando a função trabalho do metal Φ_m maior que a afinidade eletrônica do semicondutor χ . A diferença de potencial que surge na interface metal-semicondutor é mantida pelo campo eletrostático criado pelas cargas espaciais na região metal-semicondutor.

A figura 2(a) mostra o diagrama de bandas da estrutura no equilíbrio, onde se observa a formação da barreira de potencial de largura efetiva **W** e altura da barreira de $\mathbf{e\Phi_{ms}}$ em relação ao nível de Fermi E_f . Este tipo de junção é conhecido como barreira *Schottky.*

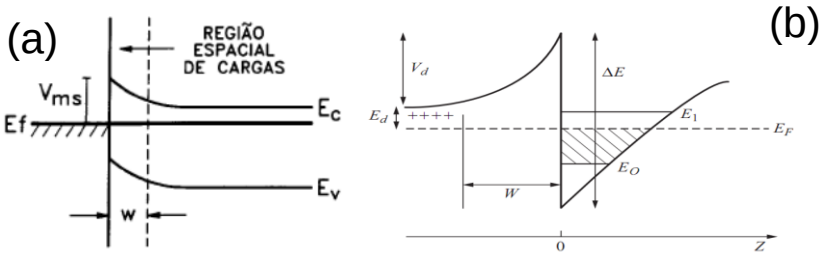

Figura 2: (a) Diagrama de bandas da barreira *Schottky*. (b) Representação esquemática da borda da banda de condução na interface metal-GaAs.

Assim, na interface é formado um poço quântico aproximadamente triangular (figura 2b) onde W é uma região não dopada.

Para um poço triangular o potencial eletrostático φ(z) é linear em z>0 e infinito em z=0. Assim para z>0 temos que:

$$\varphi(z) = -\varepsilon_s z \qquad 01$$

O hamiltoniano para um elétron em um poço triangular pode ser escrito como:

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dz^2} + V_p(z) + e\varphi(z) \qquad 02$$

onde $V_p(z)$ é a energia do potencial periódico, que possui como solução o produto de duas funções ,cuja a função de onda ser escrito como:

$$\Psi(z) = F(z)U(z) \qquad 03$$

onde U(z) é a função de Bloch para a banda de condução e F(z) é a função envelope que satisfaz a equação de Schrödinger.

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m^*}\frac{d^2}{dz^2} + e\varphi(z)\right]F(z) = E_n F(z) \qquad 04$$

A equação de autovalor da expressão acima tem como solução:

$$E_n = \left(\frac{\hbar^2}{2m^*}\right)^{\frac{1}{3}} \left[\frac{3\pi e\vec{E}}{2}\left(n+\frac{3}{4}\right)\right]^{\frac{2}{3}} \qquad 05$$

Onde para o estado de menor energia temos: **(n=0)**

$$E_0 \approx \left(\frac{\hbar^2}{2m^*}\right)^{\frac{1}{3}} \left[\frac{9\pi e^2 N}{8\varepsilon\vec{E}}\right]^{\frac{2}{3}} \qquad 06$$

Para o Poço Quântico de AlAs/GaAs temos que: $E_1 = 3{,}94x10^{-5}\vec{E}^{\frac{2}{3}}(eV)$ e $E_2 = 6{,}96x10^{-5}\vec{E}^{\frac{2}{3}}(eV)$.

Relacionando $\vec{E}$ e a concentração de elétrons no poço triangular, a lei de Gauss nos dá:

$$\vec{E} = 4\pi\frac{eN_s}{\varepsilon} \qquad 06$$

onde N_s é a concentração superficial de elétrons, para $N_s \sim 10^{12}\ cm^{-2}$ e ε ~13 (para GaAs), $\vec{E} \sim 1{,}39x10^5\frac{V}{cm}$, substituindo esse valor na equação 5, obtemos os seguintes valores de energia: E_1**=106 meV**, E_2**=190 meV** (vide figura 2b), cuja separação é aproximadamente **100 meV**, tal que à 300K ($K_BT \sim 26meV$) apenas o estado fundamental será populado.

Quando não há formação da barreira de potencial, temos um contato resistivo, ou seja, contatos ôhmicos que também podem ser formados quando a barreira Schottky é nula, ou é muito estreita de maneira a permitir correntes de tunelamento com baixíssima resistência ao movimento dos elétrons.

Neste tipo de contato o módulo da corrente elétrica independe do sentido da polarização. A relação ixV é linear e simétrica em torno de V=0 e com baixa resistência elétrica.

Mas ao se aplicar um campo elétrico externo, para induzir o transporte de corrente, acontece à deformação do potencial dentro da heteroestrutura, esse tipo de fenômeno chama-se efeito *Stark [ilustrado na figura 1(c)]*, onde a solução os autovalor da energia são dados também pela equação 05.

Métodos Utilizados

Quando um campo elétrico é aplicado na heteroestrutura no sentido de polarização direta, a altura da barreira de potencial diminui, facilitando o deslocamento dos portadores majoritários de um lado para outro da junção.

Inicialmente, toda a tensão estará aplicada diretamente na região da junção, e a queda de tensão no material N e P é desprezível. A corrente é controlada pela variação da barreira à medida que a corrente aumenta, a tensão externa se distribui entre o material e a barreira. A partir de um ponto a corrente passa a ser controlada pela resistência intrínseca do material (a corrente do diodo passa a ter um comportamento aproximadamente linear com a tensão).

Na caracterização elétrica do semicondutor foram utilizados dois tipos de contatos: solda de **In** e "Tinta Pata". Para realizar as medidas foi desenvolvida uma placa de circuito impresso com um *Tripot* acoplado nele e um porta-amostra específico. Nessa parte dos testes comparamos a dependência da corrente *versus* tensão (ixV) tanto com o contato In quanto da "Tinta Pata", usando, para a análise um gerador de funções arbitrárias, ajustado com uma tensão de 8,0 V_{pp} com forma de onda triangular e freqüência de 17 Hz, o *Tripot* foi ajustado para 200Ω. O esquema da montagem experimental esta representado na figura 4, que se segue:

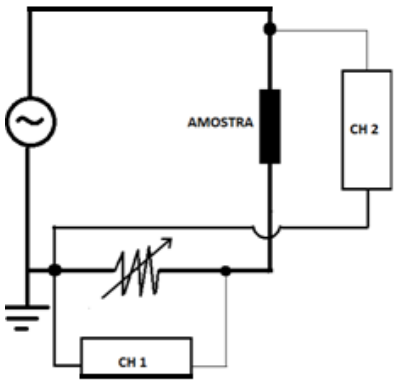

Figura 3: Circuito para levantar a curva da tensão *versus* corrente

Resultados

Após os dados serem coletados pelo osciloscópio utilizamos o programa *Origin*® para o ajuste da curva ixV.

Com isso constatamos que a “Tinta Pata” não apresenta um comportamento de contato ôhmico no semicondutor analisado (figura 4a). Posteriormente foram desenvolvidos dois porta-amostras com o interesse de se verificar qual seria a melhor condição de fazer um contato ôhmico com o **In**, verificando o processo de como deveria ser depositado esse material.

Fizemos o processamento da amostra, que consistiu em clivar (“cortar”) a amostra e limpa-la com acetona, refizemos o procedimento experimental, cortando pequenos pedaços de **In** de tal forma que eram colocados dois pedaços na camada p da amostra afastado por uma distancia de aproximadamente de 1mm. Dessa forma, a condução elétrica ocorre apenas na superfície da amostra. Constatou-se que a forma com que o In era depositado também influenciava, dependendo da forma como o In poderia difundir na amostra. O método que nos possibilitou esse controle foi utilizando um forno, onde o mesmo foi aquecido gradativamente ate alcançar uma temperatura de aproximadamente 150 ^{0}C, a amostra permaneceu nessa temperatura até a solda fundir na superfície do material. Após o resfriamento da amostra efetuamos os testes, repetimos todo esse procedimento para diferentes quantidades de **In.**

Com isso constatamos que a quantidade de In influencia na resistência do contato, consequentemente dificultando o transporte eletrônico pela a amostra, o maior valor da resistência que foi obtido entre os contatos foi de R=6MΩ (Tinta Prata) tendo como melhor resultado o valor de R=1, 244kΩ. O gráfico com o contato de **In** encontra-se na figura 5, para esse gráfico foi utilizado o contato com a resistência R= 1, 244kΩ, com esse valor conseguimos com que a tensão aplicada na amostra fosse de 8 V_{pp}.

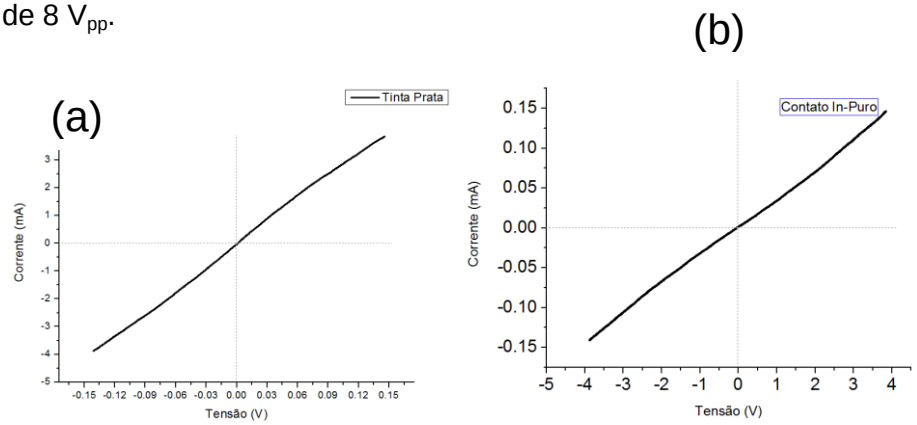

Figura 5: Gráfico ixV da camada p , utilizando contato elétrico de In com a resistência entre os contatos de R= 1,244kΩ.

O resultado acima nos da à certeza que na camada p da heteroestrutura o In faz contato ôhmico, conseguimos baixar o máximo a altura barreira *Schottky.* Os próximos serão caracterizar a camada n, desenvolver um modele teórico para a curva ixV, levantar a curva ixV experimentalmente, efetuar as medidas a baixa temperatura.

Conclusão

Foi constado que ao se inserir um metal na superfície de um semicondutor podemos obter a formação de uma barreira Schottky ou contato ôhmico. Para o nosso projeto trabalhamos com o contato ôhmico, no qual fizemos vários tratamentos tanto teóricos quanto experimental para identificarmos qual seria o melhor material e a melhor forma de se obter tal contato. Após aperfeiçoarmos o processo, que tanto o material a utilizado quanto a forma que ele é depositado influencia no transporte eletrônico na amostra, e que entre os dois materiais que testamos o In é melhor que a tinta prata para se utilizar em transporte eletrônico na amostra, pois apresentou baixíssima resistência entre os contatos R=1, 244kΩ, enquanto que a tinta prata possuiu uma resistência R=6MΩ.

Cronograma de atividades:

Nº	Descrição	Ago 2009	Set	Out	Nov	Dez	Jan 2010	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1	Análise da literatura e estudo bibliográfico sobre o assunto[1-4].	x	x										
2	Levantamento da curva ixV da amostra em temperatura ambiente.			x									
3	Elaboração da montagem experimental para as medidas de eletroluminescência em temperatura ambiente.				x	x							
4	Medidas de luminescência da amostra a 300k.						x						
5	Medidas de dependência da eletro-luminescência com o estado de polarização do bombeio.							X					
6	Realização das medidas de eletroluminescência dependentes da temperatura.								x	x			
7	Verificação do tempo de resposta da emissão eletro-luminescente.										x	x	
8	- Elaboração do Resumo e Relatório Final (atividade obrigatória) - Preparação da Apresentação Final para o Congresso (atividade obrigatória)												X

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] - R. Fiederling, *et al.*, Nature 402, 787 (1999).2
[2] - Alvarado, Santos F. and Renaud, Philippe, Phys. Rev. Lett., 68(9), 1387 (1992).3
[3] - D. Hägele, et. al., Appl. Phys. Lett. 73, 1580 (1998).4
[4] - Y. Ohno, *et al.*, Nature 402, 790 (1999).1