

## 7 CONCLUSÕES

Foram estudados moduladores de amplitude baseados no conceito de eletroabsorção em estruturas de poços quânticos múltiplos (MQW) de *InAlAs/InGaAs* e estruturas *nipi* de *AlGaAs/GaAs*.

### - AlGaAs/GaAs:

Referente ao obtido nas estruturas *nipi* de *AlGaAs/GaAs*, foi comprovada pela primeira vez experimentalmente a proposta teórica de Batty e Allsopp [Batty *et al*, 1993]: a dopagem delta otimizou em 78 % o deslocamento *Stark* nos moduladores. Foram feitas medidas do deslocamento *Stark* em guias de onda com larguras de mesa entre 3 e 7  $\mu\text{m}$  mas para a faixa de larguras de mesa testadas não foi detectado nenhum comportamento monotônico entre a largura de mesa do guia e os parâmetros dos dispositivos. Também foi encontrado que a dopagem delta resulta ser mais eficiente quando o dispositivo é operado com voltagens menores.

As cavidades dos guias de onda fabricados apresentaram perdas por propagação que não superam os 10 dB num comprimento de 250  $\mu\text{m}$ . A eficiência do acoplamento destes guias de onda,  $\Sigma$ , esteve entre 74% e 90%, isto é um resultado bastante bom, pois estas cavidades foram divididas (clivadas) de forma artesanal, o que compromete o perfil das faces de entrada e saída da cavidade óptica.

Os guias de onda fabricados são por sua vez moduladores de intensidade, por isto foi possível medir a razão de contraste em condições normais de funcionamento. A razão de contraste medida nos moduladores com dopagem delta na região ativa está dentro dos requerimentos exigidos pelos sistemas de telecomunicações, isto é, são superiores a 10 dB. Para uma amostra com dopagem delta operada com uma voltagem de 2 V e um *detuning* de 40 meV se obteve 14 dB de razão de contraste, enquanto para a amostra sem dopagem

delta se mediu uma razão de contraste de 8.4 dB, isto significa um aumento de 66%.

Por outro lado, confirmou-se experimentalmente o estudo teórico realizado por Tribuzy *et al* em amostras de *AlGaAs/GaAs*. O estudo teórico propõe a dopagem delta como meio de melhorar o parâmetro de *chirp* em estruturas de *AlGaAs/GaAs* [Tribuzy *et al*, 2004]. Estes valores do parâmetro de *chirp* medidos experimentalmente permanecem entre 0 e -1 para campos elétricos aplicados entre 30 kV/cm e 80 kV/cm, estes valores do campo elétrico são correspondentes a voltagens aplicadas entre  $\Delta V = -1$  volts a  $\Delta V = -4$  volts. Os valores do parâmetro de *chirp* foram calculados a partir das medidas de fotocorrente no plano para os modos TE e TM e a partir de medidas de fotocorrente perpendicular. Foi observado que os valores do parâmetro de *chirp* calculado a partir de todas as geometrias de fotocorrente conservou sua tendência e os valores permaneceram da mesma ordem, por exemplo, para as amostras com dopagem delta, os valores são curvas decrescentes e seus valores ficaram entre 0 e -1.

Um problema inerente à introdução de deltas na estrutura MQW, é o alto conteúdo de absorção residual, o qual se reflete na perda por inserção. A diferença de PI entre amostras com e sem dopagem delta é de 10 dB. A alta absorção residual afeta de forma direta o valor do *detuning* de operação do dispositivo, fazendo com que se deva usar valores de no mínimo 40 meV para este tipo de estruturas.

Fica em aberto a discussão porque as medidas do deslocamento *Stark* realizadas a partir das curvas de fotocorrente na geometria perpendicular deram valores inferiores aos medidos na geometria no plano. Como também fica para compreender, porque os valores teóricos do deslocamento *Stark* a partir do modelo de massa efetiva mostrados na figura 5.15 foram inferiores comparados com a medida experimental. Esta inferioridade se repete na medida do valor de  $\Delta\alpha$ , pois  $\Delta\alpha$  estimada a partir da fotocorrente perpendicular não supera o valor de  $600 \text{ cm}^{-1}$ .

Finalmente, para as estruturas *nipi* de *AlGaAs/GaAs* foi estimada a figura de mérito  $[\Gamma\Delta\alpha/F]_{10dB}$ , o valor obtido para um *detuning* de operação de 40 meV foi 3.4.

### **InAlAs/InGaAs:**

As estruturas MQW de *InAlAs/InGaAs* que foram estudadas nesta tese apresentam condição para trabalhar em 0.8 eV. Nestas estruturas foi mudada a concentração de gálio na liga do material do poço entre 0.469 e 0.520.

Como resultado do ajuste fino realizado, obteve-se uma região onde se consegue a melhor condição de operação dos moduladores de intensidade, isto é, uma maior insensibilidade à polarização e melhor variação da absorção.

As medidas realizadas de fotocorrente perpendicular e no plano mostraram que existem variações nos mecanismos de absorção devidas à mudança de concentração de gálio. Em particular, observou-se que os alargamentos das curvas de fotocorrente no plano e perpendicular em  $\Delta V = 0$  Volts, em torno da energia do *gap* do poço, se aproximam à medida que a concentração de gálio na liga *InGaAs* aumenta de 0.46 até 0.51. Isto revela que a leve tensão induzida na região dos poços melhora a condição de insensibilidade à polarização. De acordo com resultados das medidas, a amostra 661 é a mais insensível à polarização.

Para as amostras de *InGaAs/InAlAs* foi medido o deslocamento *Stark* e comparado com o deslocamento *Stark* da amostra 297. Os valores obtidos são tão bons quanto os reportados pela tese de doutorado de Pires [Pires, 1998].

Foi calculada a variação do coeficiente de absorção. O comportamento das curvas de  $\Delta\alpha$  mostram uma clara tendência a saturar a partir de um determinado valor do campo elétrico aplicado. Este fenômeno ainda fica para ser melhor compreendido.

Foi avaliada a figura de mérito  $(\Gamma\Delta\alpha/\Delta F)_{10dB}$ . Os valores obtidos foram da mesma ordem que os valores mostrados na tese de Pires [Pires, 1998]. A amostra 297 continua sendo a que apresenta maior valor desta figura de mérito, com um valor de 4.8, seguida da amostra 661 com um valor de 4.4.

As estruturas mais promissoras para fabricação de moduladores de intensidade são as amostras 661 e 297. Nestas estruturas será possível implementar a proposta teórica de Batty e Allsopp [Batty *et al*, 1993] visando obter um modulador de intensidade mais eficiente para telecomunicações.

Como conclusão do ajuste fino realizado, se apresenta o gráfico 6.17. Nele a região sombreada corresponde à região onde se consegue a melhor condição de operação dos moduladores de intensidade, isto é, uma maior insensibilidade à polarização e melhor variação da absorção.