

## ESTUDO DA INTERFACE GaAs/GaInAs POR ESPECTROSCOPIA AUGER E EROÇÃO IÔNICA

J. Morais, T.A. Fazan, M.A. Sacilotti\*, R. Landers

IFGW/UNICAMP - C.P. 6165 - Campinas - SP

\* CPqD/ TELEBRÁS - Campinas-SP.

É mostrado o efeito da variação da energia e do ângulo de incidência de ions numa experiência de perfilamento em composição de uma interface entre GaAs e GaInAs obtida por erosão iônica e Espectroscopia AUGER. Fica evidenciado que em energias abaixo de 500eV e ângulos razantes obrem-se perfis sem a introdução de artefatos instrumentais.

Com a necessidade crescente de se produzir dispositivos semicondutores mais eficientes estão sendo aperfeiçoadas técnicas de crescimento epitaxial (MOCVD, CBE, MBE) o que possibilitam um grande controle na espessura da camada crescida, como também na capacidade de se modificar a composição da camada abruptamente, isto é, interfaces cada vez mais finas.

Não existem muitas opções quando se deseja caracterizar esse tipo de estrutura quanto à sua composição, ou seja obter a distribuição dos vários elementos químicos ao longo de sua espessura. Uma técnica frequentemente empregada para isto é a Espectroscopia AUGER associada a erosão iônica; é sobre este tipo de análise, aplicada a uma sequência de filmes epitaxiais superpostos de InGaAs alternando com GaAs cujas espessuras são de 50Å, que versa este trabalho.

Apesar do grande poder da técnica existem várias limitações que se deve ter em mente ao se observar este tipo de experimento. Primeiramente há o efeito de alargamento aparente das estruturas pelo fato do elemento amostrador em AES ser um elétron com energias entre 20eV e 2000eV, o que lhe oferece um livre ca-

minho médio inelástico de pelo menos 5Å [1] e para a maioria dos casos entre 5 e 15Å.

Consideremos um sistema composto de um material A que desejamos analisar coberto por uma camada de espessura Z de um outro material B. Temos que a intensidade de corrente AUGER [2] para o elemento A será dada por:

$I_A = I_0 \exp(-Z / \lambda_{AB})$ , onde  $\lambda_{AB}$  é o caminho livre médio dos elétrons provenientes da transição Auger do elemento A dentro da matriz B.

Isto nos mostra que intensidade do sinal Auger já terá um valor significativo se a espessura da camada do elemento B, Z, for da ordem de  $\lambda_{AB}$ . Neste caso, teremos a de teção do elemento A antes mesmo que ele esteja na superfície nos dando a impressão que a interface BA é bem mais larga que é na realidade.

Em segundo lugar deve se considerar os efeitos inerentes à erosão iônica das quais só consideraremos dois: mixagem por choque, erosão preferencial. Numa erosão iônica faz-se incidir ions energéticos com a superfície em estudo a fim de retirar átomos da mesma.

O tipo de interação íon-superfície irá depender entre outras coisas da energia e ângulo de incidência do feixe iônico. Com altas energias e direções próximas a normal os ions penetrarão profundamente no sólido criando uma espessa camada modificada [3], a interação neste caso é caracterizada por uma série de choques em cascata. quando, se tem ions com energias baixas, menores que 1KeV frequentemente o ions transfere sua energia a átomos superficiais especialmente se o ângulo entre o feixe iônico e a superfície for pequeno. Neste último caso efeitos tipo "knock-on" ou "cascade mixing" são minimizados.

Acima de 0,5 KeV a espessura da região modificada é proporcional a raiz quadrada da energia dos ions [4]. Erosão preferencial está ligada a maior ou menor dificuldade de se retirar um átomo da superfície [5], o que pode levar a um aparente enriquecimento do elemento mais ligado. Talvez mais grave é a formação de "cones" em ra-

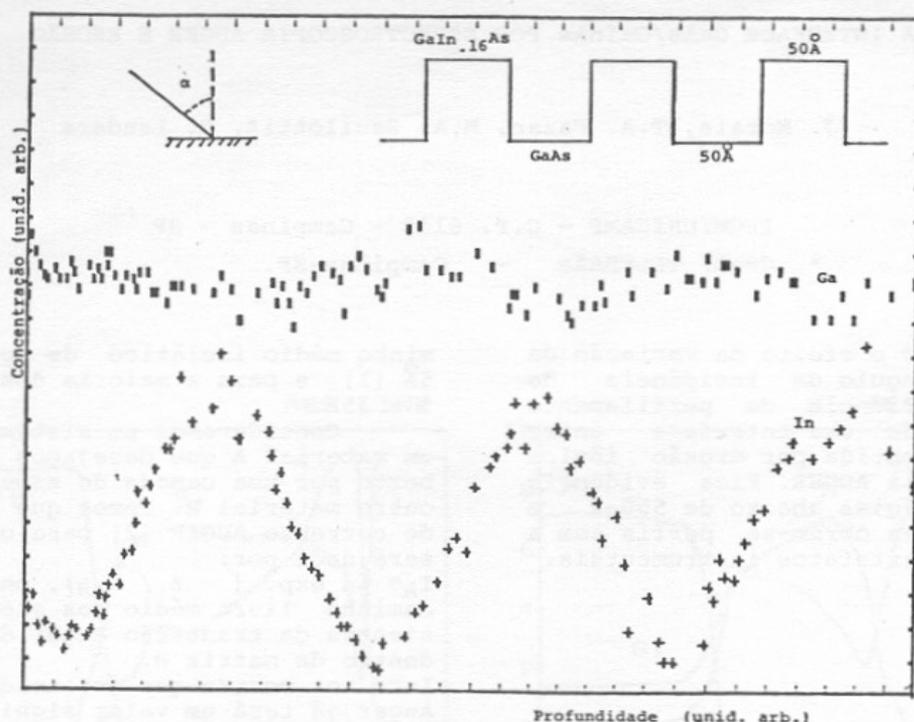


Fig. 1 : Perfil em profundidade da estrutura idealizada no canto superior com  $\alpha = 50^\circ$  e  $E = 500$  eV.

ção do sombreamento por ilhas de material retiradas com taxa muito menor que aquela com que a matriz [6] é retirada. Ambos estes efeitos podem levar a resultados bem longe da realidade. O segundo, no entanto, é mais difícil de corrigir uma vez que os elétrons Auger são recolhidos sobre uma área bem maior que as rugosidades tipo "cones". O objetivo deste trabalho foi de otimizar os parâmetros de um experimento de perfilamento em composição de uma estrutura GaAs/GaInAs por erosão iônica e espectroscopia de elétrons Auger.

## II - TÉCNICA EXPERIMENTAL

As amostras foram retiradas de um "Wafer" de GaAs sobre a qual foram crescidas por MOCVD, à pressão atmosférica, 20 estruturas superpostas de uma camada GaAs sobre uma de Ga<sub>0.34</sub>In<sub>0.16</sub>As ambas com espessura igual a 50 Å. Os parâmetros de crescimento foram escolhidos de maneira a produzir interfaces bem abruptas além de perfeita epitaxia. Foram retiradas três amostras com pequenas dimensões de uma mesma região do Wafer, a fim de se garantir a identidade entre eles.

As análises foram feitas num aparelho Auger comercial consistindo de um canhão de elétrons coaxial (varian modelo

981-2601) e canhão de ions (Varian modelo 981-2043).

A pressão de base era mantida por uma bomba iônica em torno de  $2 \times 10^{-10}$  Torr. Durante a erosão introduziu-se  $4 \times 10^{-5}$  Torr de argônio de alta pureza na câmara de análise.

O feixe de elétrons excitadores tinha um diâmetro de torno de 100  $\mu$ m, corrente de  $1,7 \times 10^{-8}$ . A energia de 3KeV. Enquanto que o feixe de ions tinha energia de 500eV ou de 250eV.

As amostras foram montadas sobre folhas de tântalo sendo o ângulo entre a normal a superfície e o feixe de ions foi de  $50^\circ$  ou  $80^\circ$ .

A fim de compensar qualquer variação na intensidade do feixe eletrônico excitador ou ganho da eletromultiplicadora normalizaram-se os dados em relação ao pico Auger do As (1226eV) uma vez que a concentração atômica de As é constante em toda a amostra.

## RESULTADOS

Observou-se que ions de Ar com energia maior que 600eV implantam-se na amostra, portanto concentrou-se em energias menores, 500eV ( $2,1 \times 10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>) 250 eV ( $8,1 \times 10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup>), sendo também verificado o efeito do ângulo de incidência.

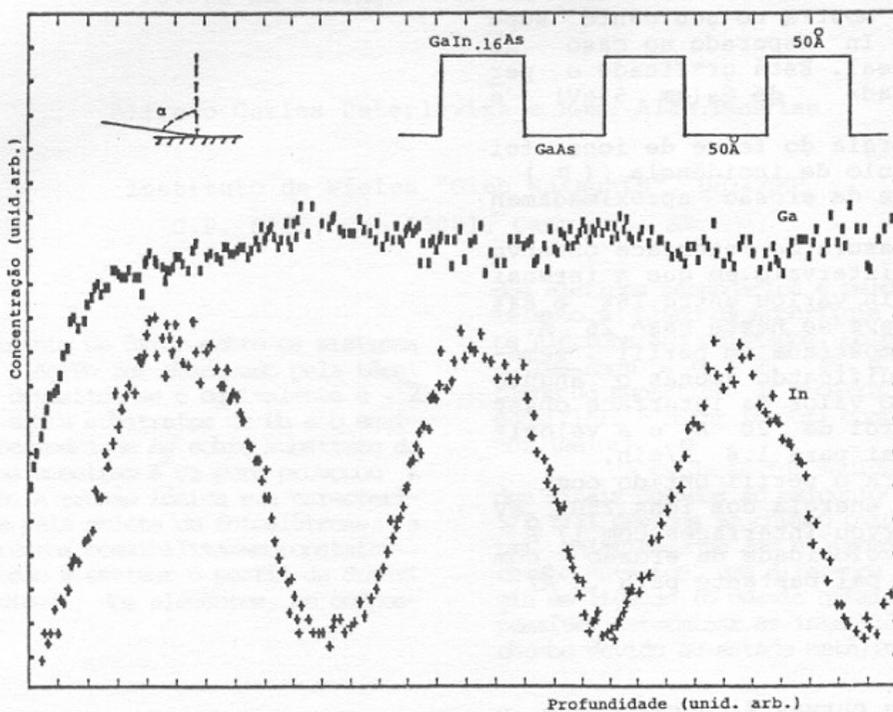


Fig. 2 : Perfil em profundidade da estrutura idealizada no canto superior com  $\alpha = 80^\circ$  e  $E = 500$  eV

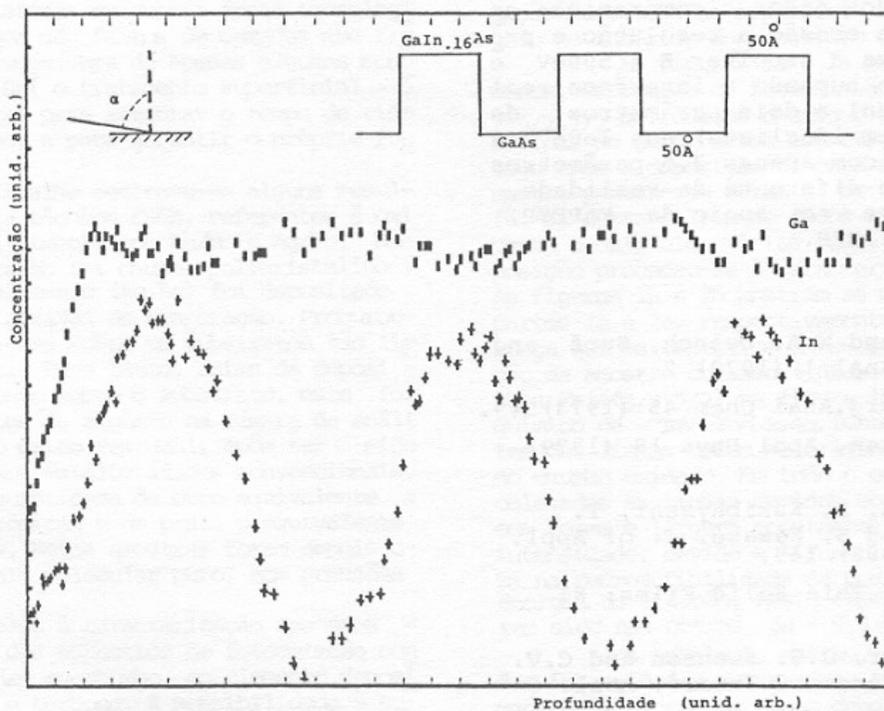


Fig. 3 : Perfil em profundidade da estrutura idealizada no canto superior  $\alpha = 80^\circ$  e  $E = 250$  eV

A figura 1 mostra no seu canto superior o perfil de In esperado no caso de uma interface ideal. Está graficado o perfil em profundidade do Ga (em 55eV) e In (em 402eV).

Neste caso a energia do feixe de ions foi de 500eV e o ângulo de incidência ( $\alpha$ )  $50^\circ$  a velocidade de erosão aproximadamente  $6 \text{ \AA}/\text{min}$ .

Definindo a espessura da interface observa da como sendo o intervalo em que a intensidade do pico de In variou entre 16% e 84% de seu valor obteve-se neste caso  $26 \text{ \AA}$ .

Na figura 2 é mostrada um perfil semelhante obtida modificando apenas o ângulo  $\alpha$  para  $80^\circ$ . O valor da interface observada neste caso foi de  $20 \text{ \AA}$  e a velocidade de erosão cai para  $1.6 \text{ \AA}/\text{min}$ .

A figura 3 mostra o perfil obtido com  $\alpha = 80^\circ$  e a energia dos ions  $250 \text{ eV}$  de onde se observou interfaces com  $17 \text{ \AA}$  de espessura. A velocidade de erosão com estes parâmetros cai bastante para  $.2 \text{ \AA}/\text{min}$ .

#### CONCLUSÃO

Destas três curvas fica claro que o aumento do ângulo de incidência do feixe iônico em relação a normal à superfície e a diminuição da energia do mesmo leva a uma melhor retratação da realidade as custas de uma diminuição da velocidade de erosão. Na maioria dos casos o compromisso entre velocidade de erosão a resolução e profundidade nos leva a escolher  $E = 500\text{eV}$  e  $\alpha = 80^\circ$  mesmo supondo a interface real com espessura igual a dois parâmetros de rede (hipótese bem idealista) nos leva a retratar a mesma com apenas 3,5 parâmetros de rede não muito diferente da realidade. Este trabalho teve o apoio da FAPESP, CNPq, TELEBRÁS, FINEP.

#### REFERÊNCIAS

- [1] - M.P. Seah and W.A. Deanch, Surf and Interface Anal 1 (1979) 2 .
- [2] - P.W. Palmberg, Anal Chem 45 (1973) 549.
- [3] - H.H. Andersen, Appl Phys 18 (1979) 131.
- [4] - F. Matsunaga, H. Kakibayashi, T. Mishima and S. Kawase. J. of Appl. Phys 27 (1988) 149.
- [5] - M.P. Seah, Thin Solid Films, 81 (1981) 279.
- [6] - D.K. Skinner, J.G. Swanson and C.V. Haynes Surface and Interf. Anal. 5 (1983) 38.