

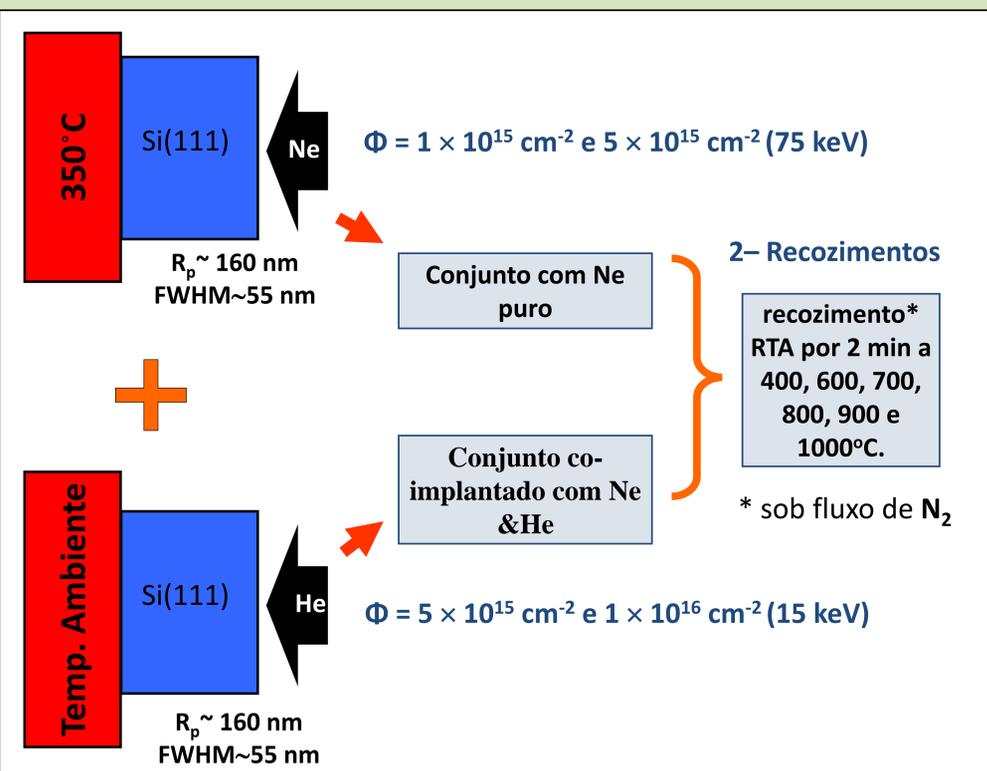
Introdução:

Recentemente foi desenvolvido um método para crescer GaN sobre Si [1] baseado na formação de He em substrato Si(111) que visa melhorar a qualidade da camada crescida de GaN: He é implantado antes do crescimento do GaN/AlN, que é realizado na temperatura ótima de formação das bolhas. Resultados de TEM e RBS/C mostraram que as bolhas são formadas. O campo de tensão ao redor das bolhas interagem com as discordâncias, redirecionando-as para o substrato ao invés de se propagarem para a camada crescida.

Neste trabalho nós investigamos a estabilidade térmica de sistemas contendo bolhas de Ne, as quais tem mostrado alta estabilidade [2, 3]. Fizemos um estudo sistemático de Si(111) implantado com Ne e co-implantado com Ne e He, objetivando entender as diferenças desses sistemas comparados com aqueles implantado com He puro.

Procedimentos Experimentais:

1 – Implantação de Ne e Ne&He



3 – Análise estrutural por RBS/Canalização (42 amostras) e TEM

Resultados e discussões:

Conjunto contendo Ne puro (Canalização):

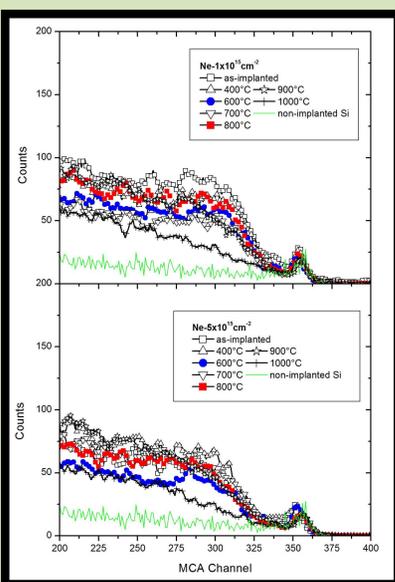


Fig.1

Fig. 1 (a): $1 \times 10^{15} \text{ Ne/cm}^2$; **Fig. 1 (b):** $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$.

As figuras mostram o espectro de RBS/C em função das diferentes temperaturas de recozimento. Os picos de decanalização tem altura próxima ao da curva como-implantado. A exceção é o espectro para 1000° C que apresenta alta canalização, aproximando-se da curva para Si não implantado (linha contínua). Isso sugere que a decanalização é devido aos defeitos residuais da implantação.

Conjunto contendo Ne puro (TEM):

Figs. 2 (a) e 2 (b) são imagens TEM da amostra implantada com $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ de Ne e recozida a 800° C. Fig. 2 (a) demonstra uma banda de 100 nm contendo bolhas de Ne a 150 nm de profundidade. Elas tem formato esférico (cerca de 5 nm de diâmetro). Fig. 2 (b) As áreas escuras são regiões de desordem na amostra que estão presentes na região onde as bolhas de Ne são formadas.

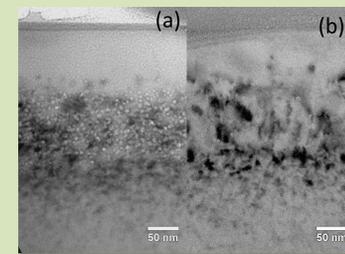


Fig. 2
(a) under-focus (b) in-focus weak-beam

Os resultados atuais de TEM, em conexão com os resultados de RBS/C apresentados na Fig. 1, são pelo menos coerentes com o sistema de bolhas de Ne puro, com pressão muito menor que aquelas apresentadas no caso do He puro [1].

Co-implantação de Ne & He

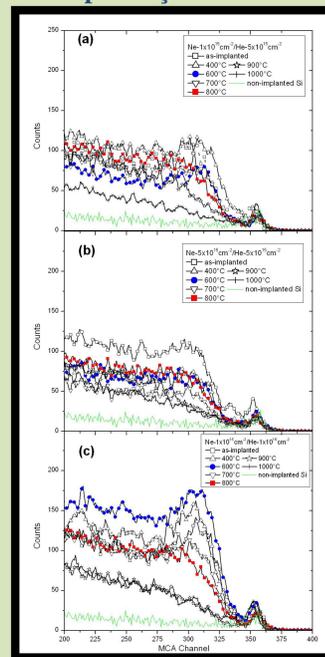


Fig.3

Figs. 3 (a): RBS/C das amostras co-implantadas com $1 \times 10^{15} \text{ Ne/cm}^2$ & $5 \times 10^{15} \text{ He/cm}^2$. Evolução térmica semelhante aquela da implantação de Ne puro.
Fig. 3 (b): RBS/C das amostras co-implantadas com $5 \times 10^{15} \text{ Ne/cm}^2$ & $5 \times 10^{15} \text{ He/cm}^2$. Espectros apresentam aproximadamente o mesmo nível de decanalização que o como-implantado.
Fig. 3 (c): RBS/C das amostras co-implantadas com $1 \times 10^{15} \text{ Ne/cm}^2$ & $1 \times 10^{16} \text{ He/cm}^2$. Comportamento térmico levemente diferente. Há um pico de decanalização (por volta do canal 310) que é um pouco maior que para os casos 400 e 600° C, comparado com o como-implantado. 700° C e 800° C ainda apresentam alto grau de decanalização para os canais mais baixos (abaixo de 275). Isso pode indicar que as bolhas híbridas podem estar mais pressurizadas neste caso.

Fig. 4 (a) – (b): Imagem TEM da amostra co-implantada com $1 \times 10^{15} \text{ Ne/cm}^2$ & $1 \times 10^{16} \text{ He/cm}^2$ e recozida a 600° C. Há somente bolhas esféricas. **Fig. 4 (c):** TEM da amostra implantada com $1 \times 10^{16} \text{ cm}^2$ de He e recozida a 600° C para propósito de comparação. As bolhas de He possuem morfologia completamente distinta: elas são tipo disco e com bolhas menores próximas das maiores. É notável que a morfologia das bolhas da amostra co-implantada [Fig. 4 (a)] não se assemelha ao sistema contendo somente He, mesmo na proporção He:Ne de 10:1.

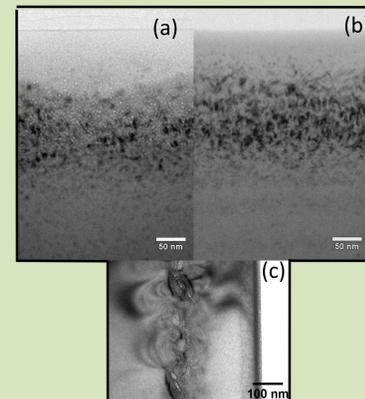


Fig.4
(a), (c), (d) under-focus (b), (e) in-focus weak-beam

Fig. 4 (c) – (d): imagem TEM da amostra co-implantada com $1 \times 10^{15} \text{ Ne/cm}^2$ & $1 \times 10^{16} \text{ He/cm}^2$ e recozida 1000° C. As bolhas ainda estão presentes, são grandes e esféricas (cerca de 15 nm de diâmetro). Além disso não há lóbulos escurecidos ao redor das bolhas, que indicaria stress no material.

Também não é possível ver os lóbulos escurecidos ao redor das bolhas no sistema co-implantado, que indicariam stress no Si. RBS/C dessa temperatura [Fig. 3 (c)] apresenta a menor altura do conjunto. Além disso, é possível ver que os defeitos diminuíram significativamente com o aumento da temperatura.

Conclusões:

As bolhas estão sempre presentes mesmo nas temperaturas mais altas nos sistemas co-implantados. No entanto, enquanto elas aumentam de tamanho, o grau de canalização aumenta. Por outro lado, existe uma correlação entre o aumento da canalização e a redução dos defeitos. Isso demonstra um sistema contendo bolhas com pressão muito menor que aquelas do caso He puro, onde a decanalização é devido a formação de bolhas super pressurizadas. Continuamos o trabalho buscando um sistema com as características do He, mas estável a altas temperaturas.

[1] Z. Liliental-Weber, R.L. Maltez, J. Xie and H. Morkoc, *J. Cryst. Growth* **310**, (2008) 3917-3923.

[2] E. Oliviero, S. Peripolli, P.F.P Fichtner, L. Amaral, *Materials Science and Engineering B* **112**, (2004) 111.

[3] E. Oliviero, S. Peripolli, L. Amaral, P.F.P Fichtner, M.F. Beaufort, J.F. Barbot and S.E. Donnelly, *J. Appl. Phys.*, **100** (2006) 043505.