



## Introdução:

Recentemente foi desenvolvido um método para crescer GaN sobre Si [1] baseado na formação de bolhas de He em substratos Si(111) para melhorar a qualidade de GaN crescido sobre estes substratos. He é implantado antes do crescimento do GaN, que é realizado na temperatura ótima de formação de bolhas de He (~600°C). O campo de tensão ao redor das bolhas interagem com as discordâncias, redirecionando-as para o substrato em vez de se propagarem para a camada GaN crescida.

Neste trabalho nós investigamos a estabilidade térmica de sistemas co-implantados com Ne (cujas bolhas tem mostrado alta estabilidade [2, 3]) e He. Realizamos um estudo sistemático em Si(111) implantado, objetivando entender as diferenças desses sistemas comparados com o sistema He puro [1].

## Procedimentos Experimentais:

### 1º- IMPLANTAÇÃO DE Ne E Ne&He

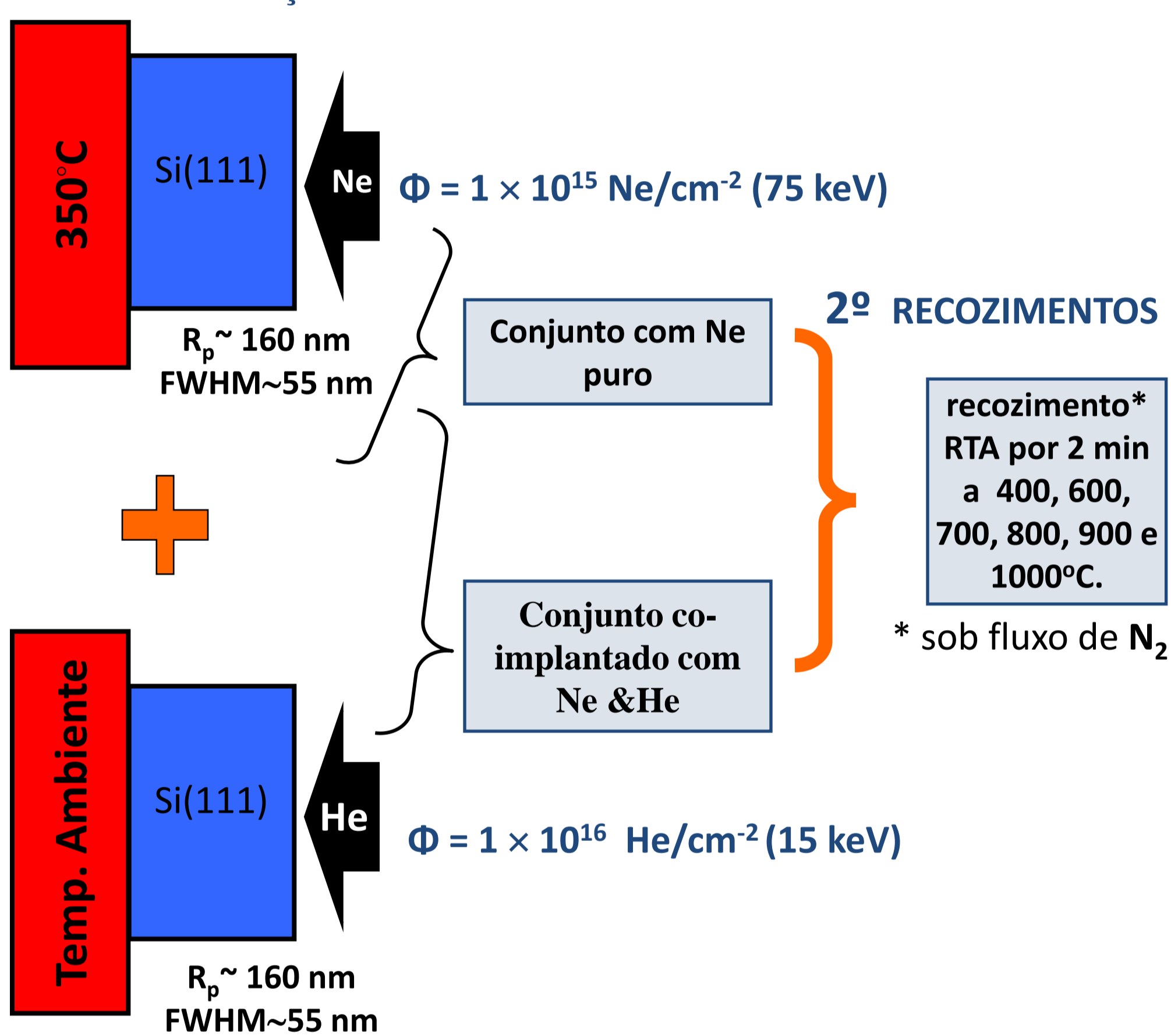


Fig. 1

Implantações adicionais: • sequência de implantação invertida (He&Ne)  
• implantação de Ne a 450°C

### 3º - ANÁLISE ESTRUTURAL POR TEM (e RBS/CANALIZAÇÃO)

## Preparação de amostras para Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM):

Em um TEM o feixe de luz é substituído por um feixe de elétrons de ~200keV. Amostra precisa ser transparente ao feixe de elétrons (entre 20 nm e 400nm na região de análise) → **Preparação especial de amostras sólidas p/ vista transversal:**

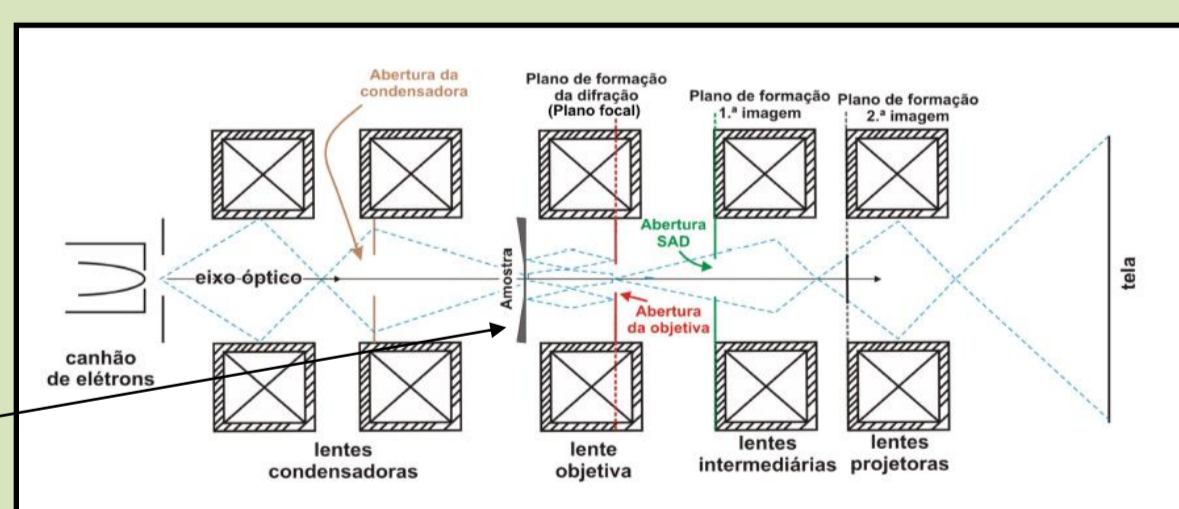


Fig. 2

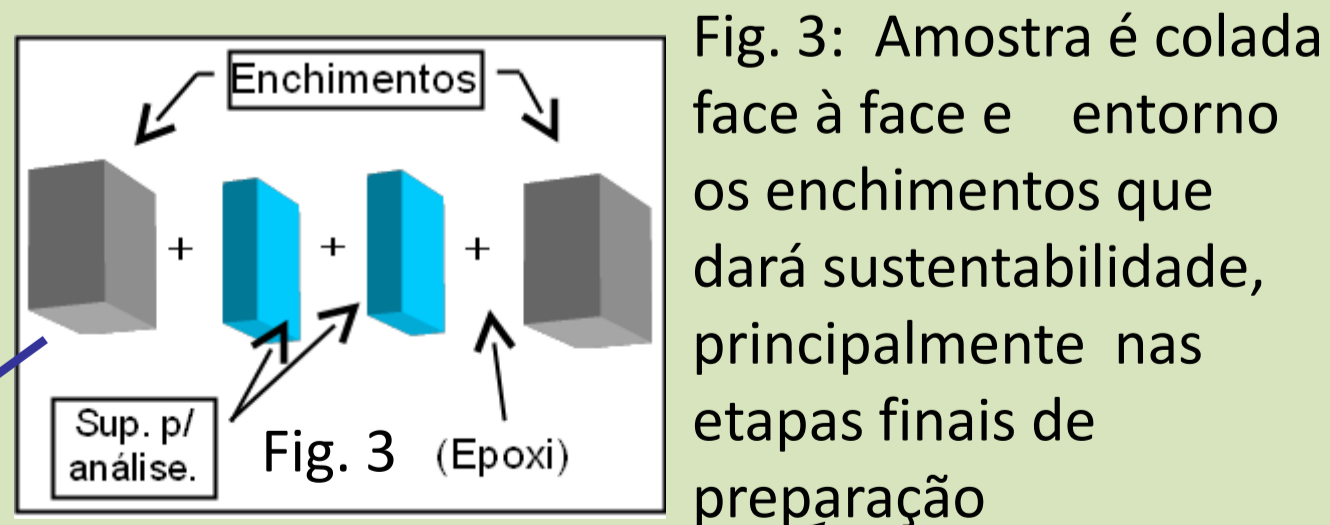


Fig. 3: Amostra é colada face à face e entorno os enchimentos que dará sustentabilidade, principalmente nas etapas finais de preparação

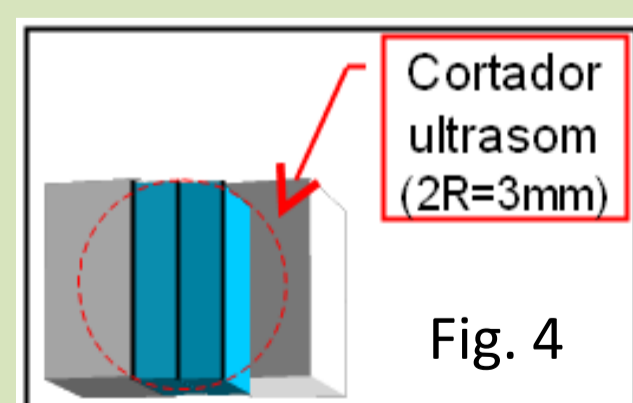


Fig. 4

Fig. 4: Após a colada amostra é cortada em forma de disco de  $\phi = 3$  mm.

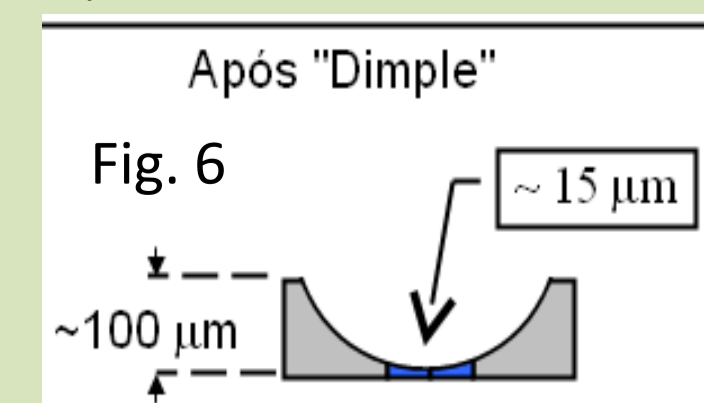


Fig. 6

Fig. 5: No dimpler a amostra é desbastada para adquirir uma forma curva em um lado. Fica com espessura central ~15μm que é finalizada com um polimento fino.

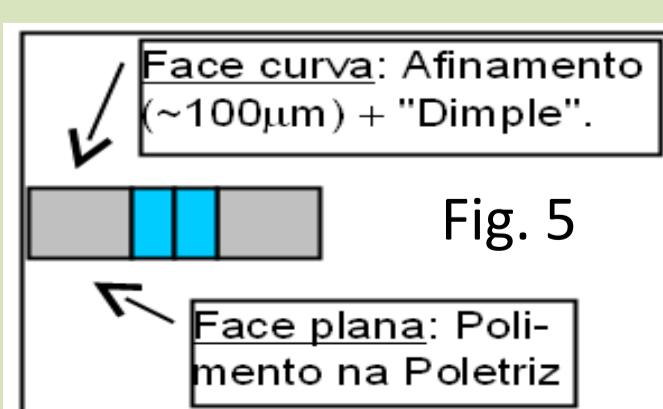


Fig. 5

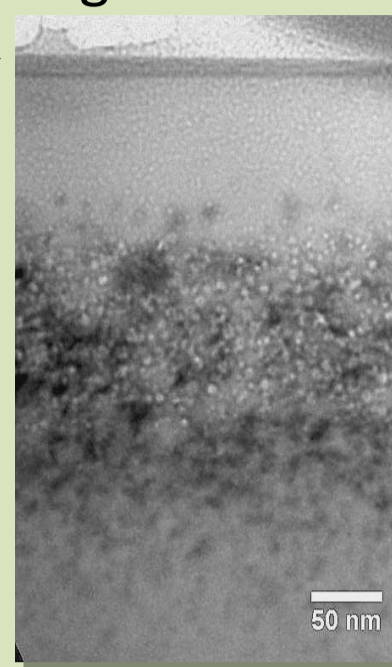
**Etapas finais:** Produção de um pequeno orifício na região central por bombardeamento com um feixe de ~3keV de Ar. Em torno do orifício temos áreas transparentes ao feixe de elétrons.

## Resultados e discussões:

### Conjunto contendo Ne puro (TEM em vista transversal):

Fig. 7 é uma imagem TEM da amostra implantada com  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  de Ne e recozida a 800°C. Demonstra uma banda bolhas de Ne de 100nm de largura na profundidade de 150 nm. Elas tem formato esférico (c/ cerca de 5 nm de diâmetro). As áreas escuras, presentes na região onde as bolhas de Ne estão formadas, são regiões de danos residuais devido ao processo de implantação iônica.

Fig. 7



Nossos resultados de TEM, em conjuntp com os resultados de RBS/C (não mostrados), indicam que o sistema de bolhas de Ne puro tem menor pressão que o de He puro [1].

Fig. 8

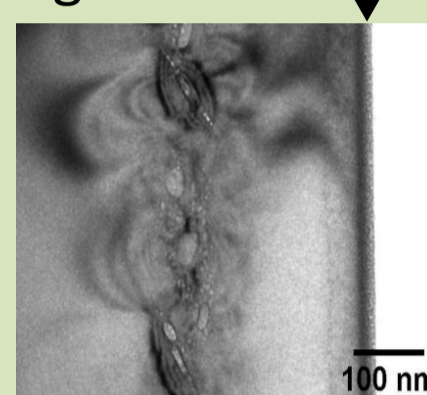


Fig. 8 Imagem TEM da amostra implantada com  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  de He e recozida a 600°C para propósito de comparação. As bolhas de He possuem morfologia completamente distinta: **elas são tipo disco e com bolhas menores próximas das maiores.**

Franjas curvadas escurecidas (lóbulos) em torno das bolhas é evidência de tensionamento no material devido à pressão.

### Bolhas de He puro:

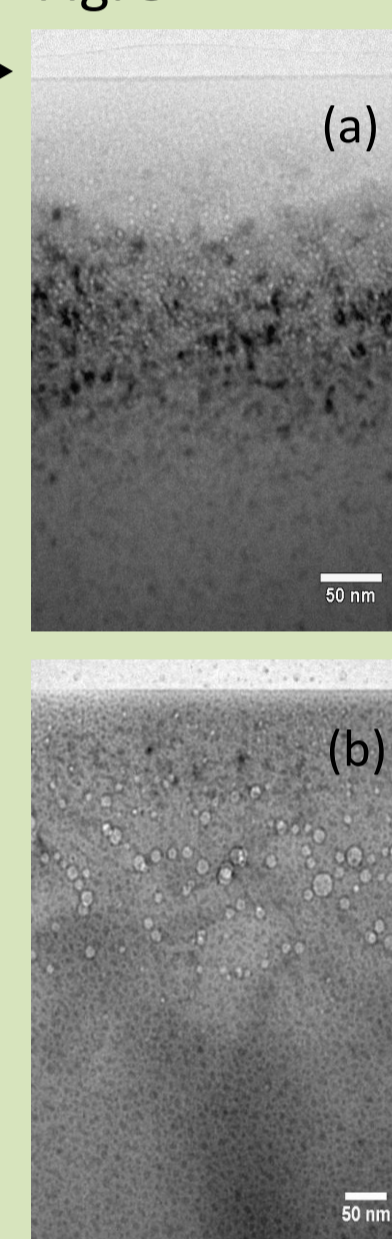
### Co-implantação de Ne & He:

Fig. 9 (a) e (b): Imagens 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 (a) e a 1000°C (b).

Há **somente bolhas esféricas**. É notável que a morfologia das bolhas das amostras co-implantadas **se assemelham ao do sistema Ne puro em vez do de He, mesmo na proporção He:Ne de 10:1.**

Fig. 9 (b): Imagem TEM recozida a 1000°C. As bolhas ainda estão presentes, são grandes e esféricas (cerca de 15 nm de diâmetro). **Não há lóbulos escurecidos** (indicativo de *campos de tensionamento* no material). É possível ver que os defeitos diminuíram significativamente com o aumento da temperatura.

Fig. 9



### Sequência de implantação invertida × temperatura de implantação mais alta (450°C): (He – $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ & Ne – $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ )

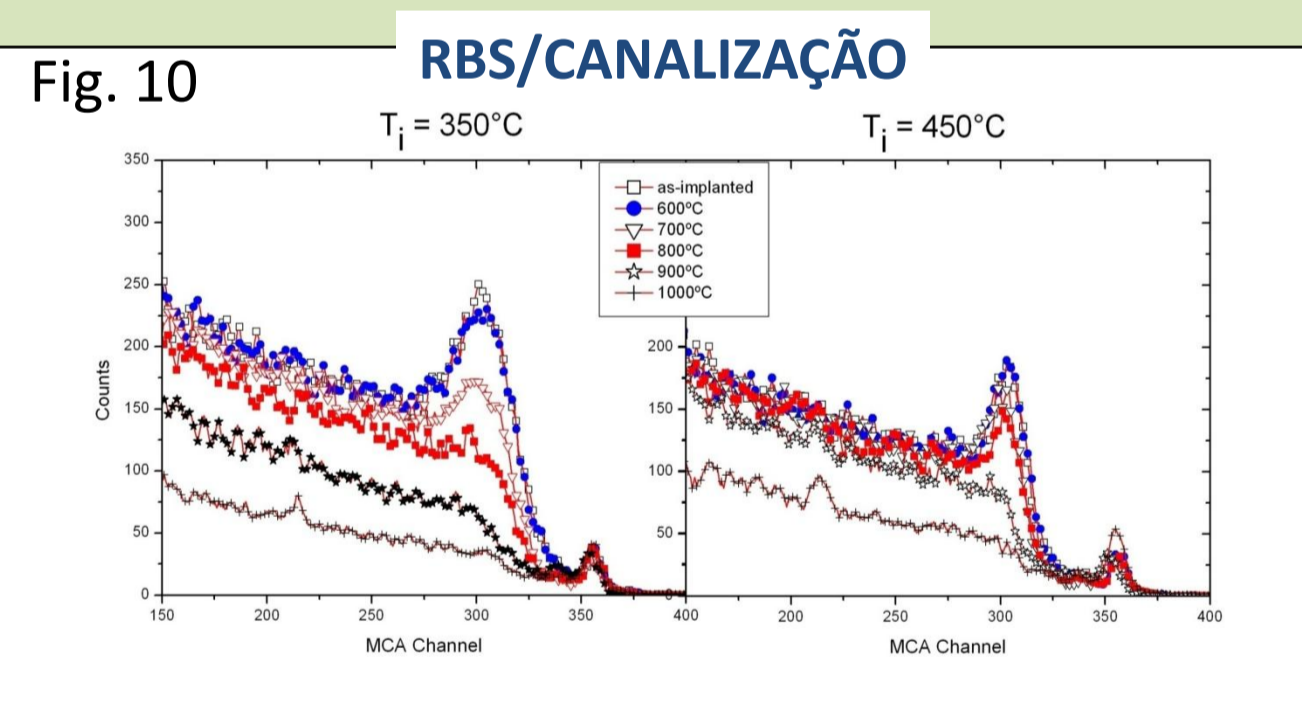


Fig. 10 : (a) RBS/C mostrando a **influência da ordem inversa** de implantação: 1º He à temp. ambiente e 2º Ne a 350°C. Não foram observadas mudanças significativas.

(b) RBS/C mostrando a **influência do aumento da temperatura de implantação** de para  $T_i = 450$  °C. As co-implantações até 800°C mostram **picos mais estreitos** que se mantêm até temperaturas mais elevadas, i.e 800 °C.

O **estreitamento do pico indica um estreitamento na banda residual de danos.**

## Conclusões:

As bolhas estão sempre presentes mesmo nas temperaturas mais altas nos sistemas co-implantados. Nossos estudos (RBS/Canalização – não mostrados) indicam que, no sistema He&Ne, a decanalização é predominantemente devido à presença de danos residuais onde as bolhas teriam menor pressão que aquelas do caso He puro. Melhores resultados foram obtidos para amostra co-implantada a 450 °C: menos danos com decanalização ainda pronunciada a mais altas temperaturas (800°C). A influência da temperatura de implantação do Ne é marcante enquanto que a inversão de ordem de implantação insignificante. Continuamos buscando um sistema com as características do He que se mantenha 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.

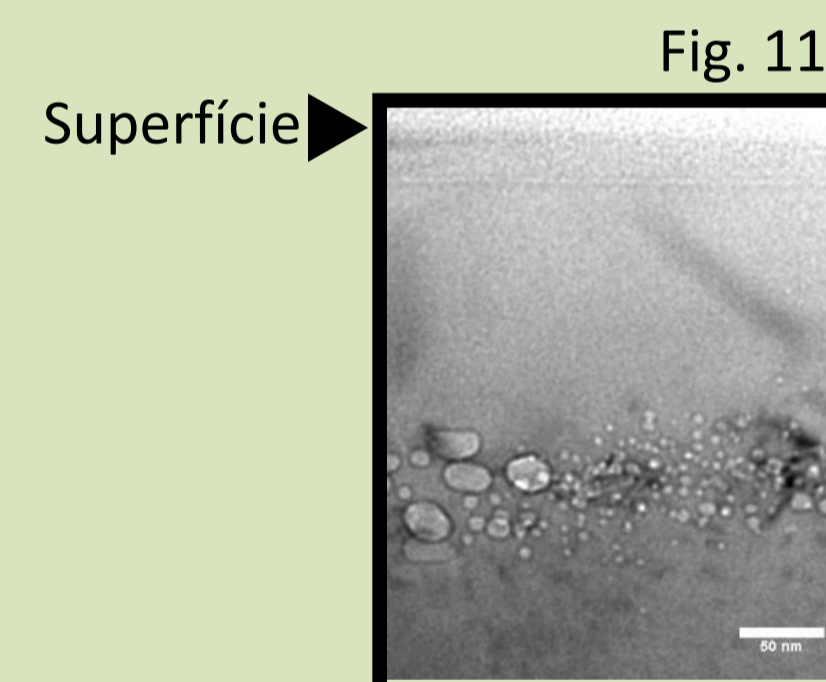


Fig. 11

Fig. 11: TEM da amostra co-implantada com  $T_i = 450$ °C (p/ Ne) e recozida a 800°C – **Compare com Fig. 7 (Ne puro a 800 °C):**

- bolhas esféricas e **também bolhas elípticas muito maiores**
- **muito menos danos residuais**
- **estreitamento da banda de danos residual** (coerente com RBS/C).