

# 1 Introdução

O número de transistores em um circuito integrado vem dobrando a cada aproximadamente 18 meses como consequência da atual corrida pela miniaturização dos dispositivos eletrônicos, obrigando as indústrias da área de micro e nano eletrônica a buscar novos materiais. A substituição do Dióxido de Silício por materiais com alta constante dielétrica permitiu a produção dos MOSFETS de 45 nm, pôs em cheque a dominância do silício na indústria microeletrônica e abriu caminho para o uso de outros materiais semicondutores com maior mobilidade de cargas. Semicondutores do grupo III-V tem sido amplamente estudados e usados em dispositivos opto - eletrônicos.

Nanoestruturas e pontos quânticos semicondutores têm atraído bastante interesse dos pesquisadores devido à discretização dos estados eletrônicos, consequente da confinamento quântica, além das óbvias vantagens com relação à miniaturização dos dispositivos. Para determinadas aplicações, principalmente em eletrônica, os pontos quânticos devem estar posicionados em locais pré - determinados.

Indentação e risco têm sido tradicionalmente usados para medir propriedades mecânicas de uma extensa gama de materiais. Uma maneira de se medir a dureza de um material através de sua resistência ao risco foi introduzida por Friedrich Mohs<sup>1</sup>. A técnica de indentação também tem sido usada para medir a resistência à deformação plástica em escala microscópica e macroscópica<sup>2</sup>. Em microindentação, um teste de dureza é feito pressionando-se uma ponta de diamante contra o material; o valor da dureza é determinado a partir das dimensões da marca resultante no material. Em nanoindentação, a profundidade de penetração da ponta é medida em função da força aplicada e as propriedades mecânicas em nano escala são calculadas seguindo modelos específicos<sup>3</sup>. A técnica de nanoindentação tem sido usada para o estudo da deformação mecânica em materiais semicondutores<sup>4</sup>. O início da deformação plástica e subsequente fluxo de material gerado pela deformação plástica em semicondutores cúbicos têm se mostrado, a partir de estudos com o uso da nanoindentação, como sendo associados ao escorregamento de planos {111}<sup>5</sup>. Outros efeitos, tais como a deformação da camada de óxido nativo<sup>6</sup> e picos de

corrente imediatamente antes do início da deformação plástica, foram relatados recentemente<sup>7</sup>. O teste de risco também é uma técnica usada para medir a resistência de materiais à deformação plástica<sup>8</sup>. Em um teste de risco, uma ponta afiada é posta em contato com uma superfície, com uma força controlada, e então movida lateralmente com uma velocidade escolhida. A profundidade e largura do risco são usados para quantificar o grau de deformação plástica<sup>9</sup>. Modelos de processos de risco puramente elásticos e plásticos foram realizados e análises baseadas em conceitos reológicos mostraram que a recuperação elástica e a fricção desempenham papéis importantes no processo de risco<sup>10</sup>. A natureza do risco depende da tensão aplicada e da velocidade da ponta durante o risco. Para baixas tensões, o processo de risco pode causar somente deformação elástica e perda de energia por fricção. Para tensões mais altas, deformação puramente plástica acontece devido à geração e movimento de discordâncias ao longo dos planos de escorregamento. Para tensões ainda maiores, a ponta penetra no cristal causando uma significativa deformação plástica com subsequente endurecimento e fratura; com isso é necessária uma força lateral maior para movimentar a ponta na velocidade desejada.

Estudos recentes com GaAs e InP mostraram que defeitos introduzidos por um processo de risco estão altamente localizados na região abaixo da região de contato entre ponta e superfície<sup>11</sup>. Esses defeitos são diferentes daqueles introduzidos por nanoindentação; foi observado que a formação de maclas é o principal processo de deformação que ocorre durante uma indentação, enquanto bandas de deslizamentos e discordâncias perfeitas foram observadas durante o processo de risco<sup>12</sup>. Quando a força aplicada é suficientemente grande ao ponto da ponta riscar e fraturar a superfície do cristal, a natureza da deformação plástica mostrou-se ser significativamente dependente da direção do risco<sup>13</sup>, o que pode ser responsável pela já reportada anisotropia na resistência ao risco ao longo de diferentes direções<sup>14</sup>.

Avanços na instrumentação que permitiram um posicionamento preciso da ponta de indentação\risco trouxeram a possibilidade de se estudar e entender os mecanismos de deformação em escala nanométrica e permitiram a alternativa de se usar essas técnicas para controlar o posicionamento de discordâncias em locais específicos da superfície do cristal. Os estudos são geralmente feitos com o uso de nanoindentadores com pontas de diamante com raios de 0.3 até 2.7  $\mu\text{m}$  e forças da ordem de dezenas de  $\text{mN}$ <sup>15,12</sup>.

O AFM foi usado recentemente para gerar deformação em regiões de dimensões nanométricas usando uma ponta de diamante com raio de 80 nm,

forças entre 20 e 80  $\mu\text{N}$  e velocidade da ponta de aproximadamente 100  $\mu\text{m/s}$ . Discordâncias ordenadas produzidas por nanoindentação foram usadas como pontos de nucleação para o crescimento de nanoestruturas<sup>16,17</sup>. Recentemente, nanoestruturas ordenadas foram crescidas com sucesso sobre riscos feitos ao longo de direções cristalográficas específicas<sup>18</sup>.

Como o crescimento das nanoestruturas se mostra na literatura extremamente dependente das propriedades dos defeitos gerados pela nanolitografia, mostra-se necessário um maior entendimento sobre a natureza da deformação nos materiais semicondutores e sobre a influência das direções cristalográficas e dos regimes de força aplicados nos defeitos gerados.