



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0606061-7 A**



(22) Data de Depósito: 16/06/2006
(43) Data de Publicação: 29/01/2008
(RPI 1934)

(51) *Int. Cl.:*
H01L 21/00 (2008.01)

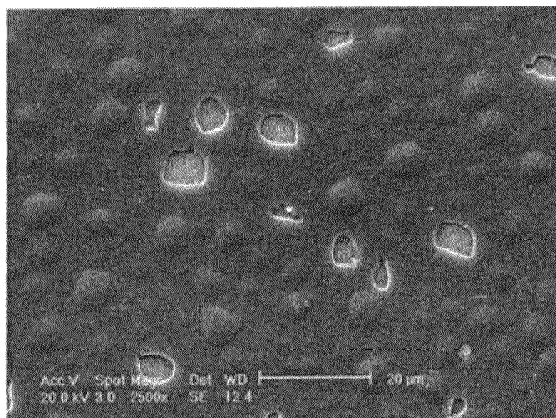
(54) Título: PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS E O PRODUTO ASSIM OBTIDO

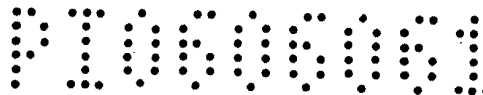
(71) Depositante(s): Shay Reboh (BR/RS) , Paulo Fernando Papaléo Fichtner (BR/RS) , Augusto Alexandre Durgante de Mattos (BR/RS)

(72) Inventor(es): Shay Reboh, Paulo Fernando Papaléo Fichtner, Augusto Alexandre Durgante de Mattos

(74) Procurador: Guerra ADV.

(57) Resumo: PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS E O PRODUTO ASSIM OBTIDO Processo para produção de filmes finos de materiais monocristalinos ou policristalinos incluindo os seguintes passos: Implantação de íons (2) pela superfície (3) de um material plano, geralmente um "wafer" (ou bolacha) de material semicondutor (1), criando uma região localizada de defeitos em forma de bolhas no volume do material (4) definindo a separação entre o volume do material (5) e o filme a ser separado (6), tratamento térmico do material, de maneira a causar a separação da camada superficial do material resto do seu volume ao longo da região onde estão localizados os defeitos, filme este que pode ser ou não previamente ancorado por um segundo material rígido(7) dependendo da aplicação desejada. E de acordo com a presente invenção, o processo de separação ocorre por propagação de trincas. Também é relatado um processo de evitar o embolhamento da camada superficial sem a presença de um ancoradouro mecânico, mesmo para camadas finas.





**“PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS E O PRODUTO ASSIM
OBTIDO”**

Campo da Invenção

5 Processos de fabricação de filmes finos de materiais, principalmente aplicados a materiais semicondutores são conhecidos desde a década de 1990. Estes métodos são, em sua maioria, caros e complexos de serem implementados. Apesar de ser relativamente fácil de fabricar filmes finos de materiais policristalinos ou amorfos, é muito mais difícil de se obter um filme de material monocristalino.

10 Atualmente uma das principais aplicações tecnológicas para os filmes finos é na indústria de semicondutores, para a obtenção de substratos de “Silício sobre Isolante”, nos quais o objetivo é de se obter um filme de Si monocristalino sobre um substrato eletricamente isolado do filme. Os principais processos estão descritos nos documentos 1986, IEEE SOS/SOI Technology Workshop, Sept. 30-Oct. 2, 1986, South seas plantation resort and yacht Harbour Captiva Island, Fla; SIMOX SOI for
15 Integrated Circuit Fabrication by Hon Wai Lam, IEEE Circuits and Devices Magazine, July 1987, Silicon on Insulator Wafer Bonding Wafer Thinning Technological Evaluations by Haisma, Spierings, Biermann and Pals, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 28, No. 8, August 1989; e Bonding of silicon wafer for silicon on insulator, by Maszra, Goetz, Caviglia and McKitterick, Journal of Applied Physics 64
20 (10), Nov 15, 1988, todos citados na patente Americana US 5374564.

Estado da arte:

A partir do início dos anos 90 foi desenvolvido um novo processo de fabricação de camadas finas de material monocristalino ou policristalino. Neste processo, o filme é formado pela sua separação de um substrato (volume ou material espesso) ao longo
25 de um plano definido por implantação iônica de espécies gasosas e a formação de

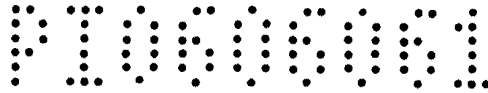
microbolhas em uma camada muito bem definida do volume do material. Este processo é comercialmente conhecido por "Smart cut", aplicado principalmente a semicondutores, e consiste nas seguintes etapas:

1- Implantação (bombardeamento) dos íons através da superfície do material de maneira a formar uma camada de microbolhas gasosas definindo o limite entre a espessura do filme a ser transferido do volume do substrato. A energia de implantação define a espessura do filme a ser transferido. Os íons implantados são geralmente H, He ou outros gases nobres.

2- O segundo passo consiste em realizar um íntimo contato da superfície do material com um ancoradouro, constituído ao menos de um único material rígido, tornando a superfície pela qual foi realizada a implantação, rígida e indeformável. Este ancoramento é realizado com o propósito de, na terceira etapa, manter a forma e coesão do filme a ser transferido, evitando assim o fenômeno de embolhamento e, ou, esfoliação localizada da superfície, característico de uma superfície submetida às mesmas condições, porém sem o devido ancoramento mecânico, que será compreendido em maiores detalhes no texto que segue.

3- O terceiro passo consiste em um tratamento térmico do conjunto, através do qual, por efeitos de rearranjo cristalino (entende-se por difusão de espécies atômicas e coalescência das microbolhas), e por efeito da pressão nas microcavidades, ocorre a separação entre o filme e o volume do substrato. Entretanto, o filme permanece rigidamente preso ao ancoradouro, conforme descrito no documento de patente US 5374564.

Neste documento US 5374564 é afirmado que segundo o método descrito, durante a etapa de tratamento térmico, o processo de separação do filme ocorre por rearranjo cristalino e pelo micromecanismo de coalescência das



microbolhas, produzindo macrobolhas, ou seja, as bolhas vão crescendo individualmente encontrando-se e formando bolhas maiores. Sob efeito da pressão de gás interna destas bolhas, a superfície do material é submetida a uma alta tensão. E se for desejado se evitar a deformação da superfície por embolamento devido as macrobolhas formadas, é necessário compensar tal tensão. Caso contrário, tais macrobolhas formadas irão deformar a superfície e estourar antes de terem todas elas atingido o estágio final de crescimento e coalescido umas com as outras, resultando em inúmeros "buracos" na superfície do material como pode ser observada na fig 1. Se for desejado obter-se um filme contínuo é necessário compensar a tensão decorrente da etapa de tratamento térmico. De acordo ainda com este mesmo documento, esta compensação é atingida pelo íntimo contato da superfície do material com um ancoradouro. A função de tal ancoradouro em contato íntimo com a superfície é a de, a partir de suas propriedades mecânicas, compensar a tensão produzida pelas então macrobolhas. Sendo assim, o filme permanece plano e intacto durante a fase de tratamento térmico até a fase final de clivagem.

Ainda o documento US 5374564 indica diversos métodos de se obter tal ancoradouro mecânico e pode ser entendido em maior detalhe consultando o mesmo.

O termo íntimo contato, é entendido por um contato obtido por pressionar o ancoradouro no material, seja por pressão eletrostática ou por contato aderente, seja ele com ou sem uma substância adesiva. Existem inúmeros trabalhos na literatura referentes aos meios de se realizar estes tipos de contatos.

As patentes existentes, assim como a literatura referente ao processo, indicam como passo necessário à transferência de filmes finos, a etapa de ancoramento mecânico da camada a ser transferida. Isto se deve ao fato relatado e

comprovado experimentalmente e assumido pelos modelamentos teóricos existentes de que se suprimida a etapa de ancoramento mecânico da superfície do filme fino a ser transferido, após tratamento térmico, o resultado necessariamente é o de embolhamento e esfoliação localizada na superfície, causada pela ruptura das bolhas devido à pressão do gás contido.

Porém, o documento US 5714395 refere-se um método de produção de filmes finos que são suficientemente rígidos para suprimir a necessidade de um ancoramento mecânico. Entende-se por "suficientemente rígidos", aqueles que impedem a formação de ondulação ou embolhamento da superfície durante o tratamento térmico, e são separados completamente do substrato, sendo auto-suportáveis e mecanicamente independentes. Dois métodos são descritos. O primeiro baseado na implantação de espécies gasosas a uma profundidade tal que proporcione uma rigidez mecânica da própria camada por um efeito de espessura, em outras palavras, suprime-se a utilização de um ancoradouro pela espessura do filme, que se torna espesso de maneira a manter a coesão e forma do filme após o tratamento térmico e separação. Ainda este documento, relata que, segundo este método, que leva em consideração uma espessura mínima crítica que garanta a rigidez mecânica do filme, a espessura mínima para separação completa de filmes de Si através de implantação de H seria de 5um sendo necessária uma energia de implantação de 500 KeV. A segunda maneira relatada no documento de patente citado é baseada na deposição de um filme fino rígido sobre a superfície do filme a ser transferido. Este, pelas suas propriedades mecânicas, realiza o papel de ancoradouro. Sendo assim, o filme a ser transferido é formado pelo filme depositado mais a camada a ser transferida do volume do substrato, caracterizado-se como um filme multicamadas.

Durante a descrição aqui presente, entenda-se por “material”, qualquer material semiconductor, ou qualquer outro material frágil, sendo monocristalino ou policristalino.

A presente invenção vem a demonstrar um método de obtenção de
5 filmes finos que possuem a rigidez necessária para suprimir a necessidade de um ancoradoiro permitindo assim a obtenção de filmes ou remoção de camadas de espessuras menores que as apresentadas como espessuras críticas para obtenção ou remoção de filmes sem ancoramento. Tal fato abre uma série de aplicações industriais, principalmente na indústria de microeletrônica. Além de ser um método
10 alternativo de obtenção de filmes finos, a remoção de controlada de camadas das mais diversas geometrias e espessuras permite uma nova liberdade em arquitetura de dispositivos.

A presente invenção vem a apresentar um método alternativo de obtenção de filmes finos de materiais monocristalinos ou policristalinos, por
15 propagação instável de trincas, e não por coalescência de microbolhas.

Descrição do invento:

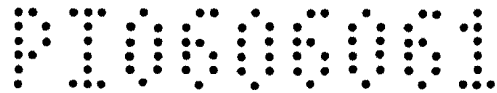
A presente invenção relata um processo controlado de obtenção de filmes finos ou remoção de camadas de materiais, com ou sem ancoramento mecânico, dependendo do objetivo a ser atingido.

20 O processo é alcançado através de um método de corte iônico via propagação instável de trincas. Geralmente o processo é nucleado em um único ponto, propagando-se por toda a extensão do material deixando uma morfologia característica de propagação de trincas como pode ser observado nas micrografias obtidas por microscopia ótica fig 2. Nestas figuras observa-se o ponto de início do
25 processo caracterizado por ser o ponto de convergência das linhas deixadas pela

propagação da trinca. O processo ocorre quando por difusão das espécies gasosas presentes no material, um dos defeitos presentes (entende-se por uma bolha ou pequeno conjunto de bolhas presentes no complexo sistema formado por bolhas esféricas de He e bolhas planas de H, Fig 3) atinge um tamanho crítico, levando a uma propagação instável da trinca através do plano por onde estão localizados os maiores números de defeitos. O complexo sistema formado pelas bolhas esféricas de He e bolhas planas de H em uma formação específica em que as bolhas de He encontram-se logo acima das bolhas de H em direção a superfície, impedem a deformação do material, fornecendo as propriedades mecânicas equivalentes ao ancoradouro externo descrito pelo estado da técnica anterior.

Citando novamente o documento US 5714395, é relatado que a espessura mínima crítica que garanta a rigidez mecânica da camada de Si para que ele seja removido do substrato seria de 5 μ m sendo necessária uma energia de implantação de 500 KeV. Com o presente processo indicamos um método de obtenção de separação completa de filmes de Si com espessuras de 1,5 μ m aproximadamente, sem ancoramento mecânico. O processo se caracteriza pela implantação de duas espécies atômicas, no caso He e H em uma condição bastante específica. A rigidez mecânica do filme é proveniente da formação de um sistema complexo de bolhas formadas pelas duas espécies atômicas (He e H), diferentemente do sistema formado pela implantação única de H.

O processo para produção de filmes finos de materiais monocristalinos ou policristalinos inclui os seguintes passos: Implantação de íons (2) pela superfície (3) de um material plano, geralmente um "wafer" (ou bolacha) de material semiconductor (1), criando uma região localizada de defeitos em forma de bolhas no volume do material (4) definindo a separação entre o volume do material (5) e o filme



a ser separado (6), tratamento térmico do material, de maneira a causar a separação da camada superficial do material resto do seu volume ao longo da região onde estão localizados os defeitos, filme este que pode ser ou não previamente ancorado por um segundo material rígido(7) dependendo da aplicação desejada. E de acordo com a presente invenção, o processo de separação ocorre por propagação de trinças. Também é relatado um método de evitar o embolhamento da camada superficial sem a presença de um ancoradouro mecânico, mesmo para camadas finas.

Como exemplo do processo, demonstramos o caso abaixo explicado.

1 - Implantação de H^2 (ressaltamos que a implantação de H ou H_2 é equivalente) à temperatura ambiente na dose de 1.10^{16} na energia de 336 Kev a uma corrente de implantação de 1 a 1,2 μA

2 - Implantação de He à temperatura ambiente na dose de 2.10^{16} na energia de 345 Kev a uma corrente de implantação de 1 a 1,2 μA

3 - Tratamento térmico a temperatura em torno de 450°C ou maior.

A corrente de implantação desempenha um papel relevante no processo, e este fato é demonstrado quando, em se utilizando uma corrente de 0,25 ou 0,5, mantendo-se todos os outros parâmetros, o resultado vem a ser o de embolhamento e esfoliação localizada da superfície, concordando então com a corrente literatura descrita no estado da técnica. Estes resultados estão resumidos na tabela 1.

Ao contrário, quando as implantações são realizadas a altas correntes, o resultado é o de remoção total do filme por propagação instável de trinca. Durante o tratamento térmico, o aumento de pressão interna das bolhas não resulta em embolhamento da superfície mesmo para filmes finos (cerca de 1,5 μm) e sim,

causando uma expansão lateral do defeito, ao atingir o tamanho crítico correspondente ao sistema, o defeito passa a se propagar rápida e instavelmente por toda a extensão do material. A prova de que os processos de coalescência das macrobolhas e propagação instável de trinca são diversos e concorrentes está demonstrada na fig 4 em quem observamos parte da amostra que foi embolhada e as bolhas estouraram seguindo o processo de coalescência e parte da amostra teve o filme removido por um processo de propagação de trincas. Nota-se que onde o processo de coalescência teve lugar primeiramente à trinca não pode mais se propagar, ao contrário, por onde a trinca se propagou o processo de coalescência não teve lugar. Sendo assim, são processos concorrentes, é um ou outro processo que irá ocorrer. Esta fig 4 demonstra que existe um limiar entre os dois processos e o quão delicado e tênue é o processo aqui descrito.

A primeira conclusão é a de que em se utilizando as espécies adequadas, no caso exemplificado H e He, energias de implantação adequadas de forma que pequenas bolhas esféricas de He existam em uma alta quantidade e densidade logo acima das bolhas de H (o alcance dos íons dentro de materiais pode ser simulado por softwares comerciais já conhecidos) e uma corrente de implantação adequada (que deve ser otimizada para cada energias de implantação de forma que o sistema de bolhas acima descrito seja obtido), o sistema de bolhas formado acaba por fornecer a rigidez necessária à camada a ser removida. A segunda conclusão é a de que neste sistema, o processo pelo qual ocorre a separação do filme é por propagação instável de trinca geralmente nucleada em um único ponto e não pelo processo de coalescência descrito na literatura. Este fato pode ser comprovado pela fig. 2 em que se observa marcas características de um processo de propagação de trincas, em contraste com a fig. 5 que demonstra um processo de coalescência, a



fig. 5 é uma micrografia de microscopia eletrônica de varredura em grande aumento em que se observa as marcas características deixadas por um processo de esfoliação onde ocorreu coalescência de microbolhas. Observa-se a localização inicial de onde estavam as microbolhas ao fundo do pedaço esfoliado. Tais bolhas
5 coalesceram ao ponto de atingirem o que se chama de macrobolha, embolharem a superfície e finalmente estourarem, e o que se observa na fig. 5 é a superfície restante.

Os valores descritos na presente invenção são ilustrativos de um determinado exemplo aqui descrito, podendo, pela variação da espessura dos filmes
10 a serem obtidos, serem outros os valores a serem calculados.

Nada o que se descreve no presente relatório descritivo deve ser interpretado de modo a restringir a presente invenção aos exemplos aqui usados.

REIVINDICAÇÕES

1. **"PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS"**, caracterizado pela separação do volume do material e do filme ocorrer pela propagação de trincas.
2. **"PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS"**, caracterizado pelas etapas de implantação de H a uma corrente e energia de implantação pré-determinada e da implantação de He a uma corrente e energia de implantação pré-determinada, de tal sorte que as bolhas de He se encontrem acima das bolhas de H em direção a superfície do filme, seguindo-se o tratamento térmico.
3. **"PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS"**, segundo reivindicação 2, caracterizado pela implantação de H a temperatura ambiente na dose de $1 \cdot 10^{16}$ na energia de 336 Kev a uma corrente de implantação de 1 a 1,2 uA, e da Implantação de He à temperatura ambiente na dose de $2 \cdot 10^{16}$ na energia de 345 Kev a uma corrente de implantação de 1 a 1,2 uA.
4. **"PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS"**, segundo a reivindicação 2, caracterizado pelo tratamento térmico a uma temperatura de 450°C ou maior.
5. **"PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS"**, segundo a reivindicação 2, caracterizado pela implantação iônica ocorrer a altas correntes.
6. Processo para a fabricação de filmes finos, segundo a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pela ausência da etapa de ancoragem ao filme fino.
7. **"PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS"**, segundo a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pela ancoragem do filme fino à um material dielétrico.
8. **"PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS"**, segundo a reivindicação 7, caracterizado pelo material dielétrico ser óxido de silício.

9. **"FILME FINO"**, caracterizado pela separação do volume de material ocorrer pela propagação de trinca.
10. **"FILME FINO"**, caracterizado pela separação do volume ocorrer pelas etapas de implantação de H, a uma corrente de implantação pré-determinada, e da
5 implantação de He a uma corrente de implantação pré-determinada, de tal sorte que as bolhas de He se encontrem acima das bolhas de H em direção a superfície do filme, seguindo-se o tratamento térmico.
11. **"PROCESSO"**, para remoção controlada de filmes ou camadas de materiais segundo a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pela ausência de etapa de
10 ancoragem e definindo geometricamente as regiões a serem removidas por sombreamento ou mascaramento das regiões que não devem ser removidas durante a etapa de implantação impedindo os íons de penetrarem no material nas regiões sombreadas.
12. **"SOMBREAMENTO DAS REGIÕES"**, segundo reivindicação 9, **caracterizado**
15 pela formação de máscaras.
13. **"PROCESSO"**, segundo reivindicação 1, 2 e 9, **caracterizado** pelo material ser um semicondutor.
14. **"PROCESSO"**, segundo reivindicação 1 e 2, **caracterizado** pelo material ser cristalino.
- 20 15. **"PROCESSO"**, segundo reivindicação 1 e 2, **caracterizado** pelo material ser formado por multicamadas.

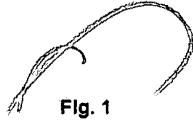
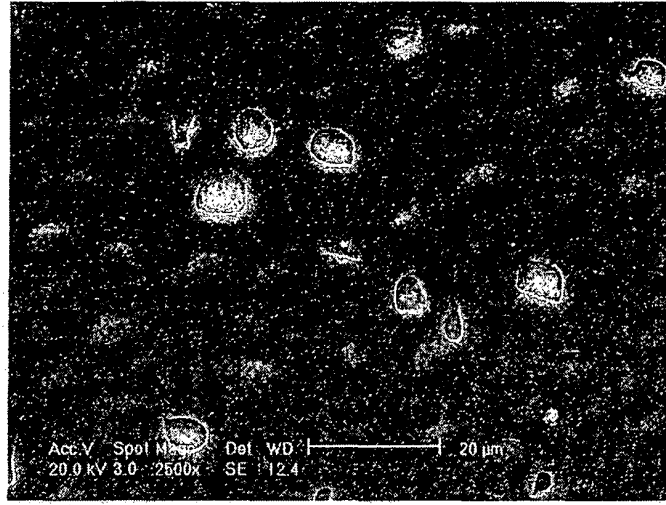


Fig. 1



Microscopia Eletrônica de Varredura

Fig. 2

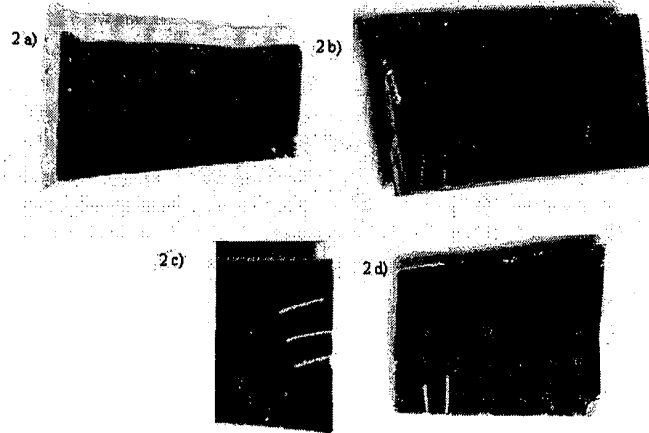


Figura 3

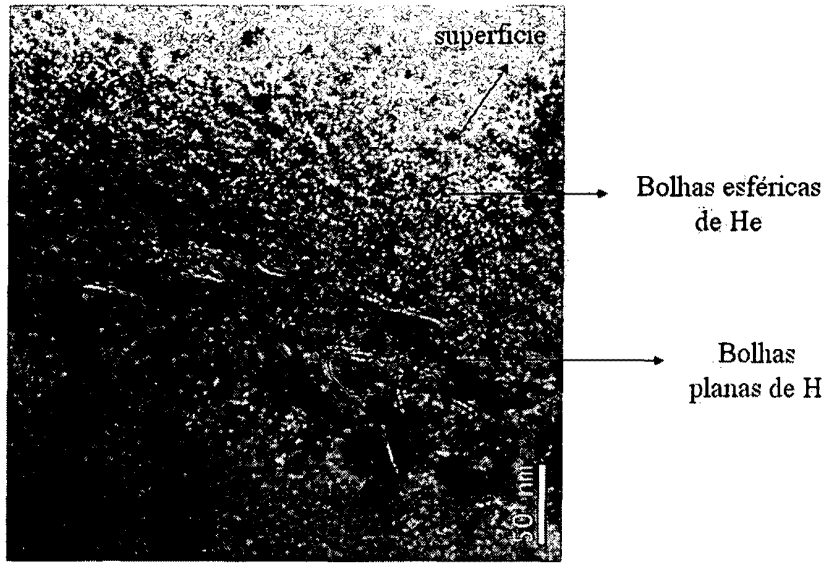


Fig.4

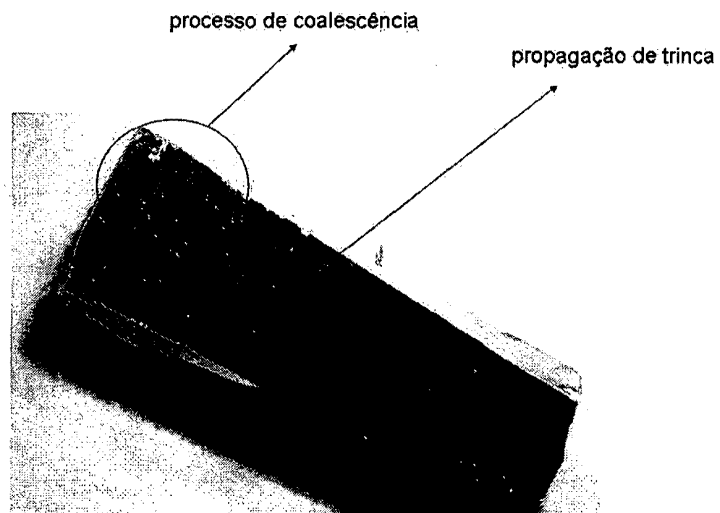
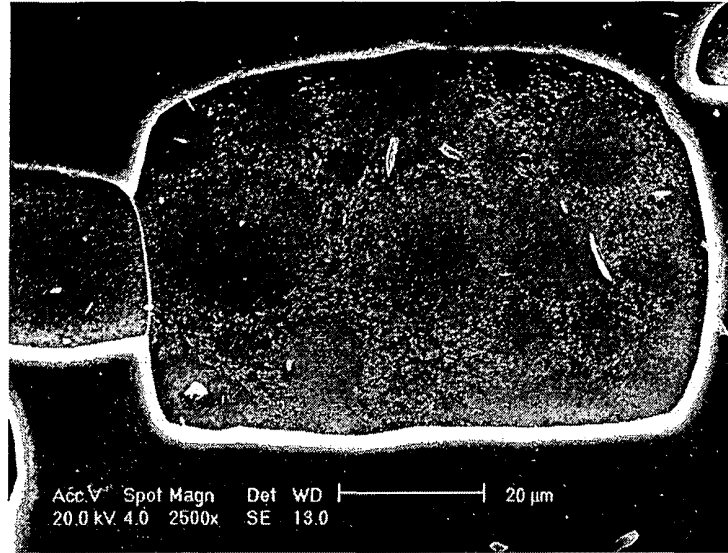


Fig.5



RESUMO

“PROCESSO PARA FABRICAÇÃO DE FILMES FINOS E O PRODUTO ASSIM
OBTIDO”. Processo para produção de filmes finos de materiais monocristalinos ou
policristalinos incluindo os seguintes passos: Implantação de íons (2) pela superfície
5 (3) de um material plano, geralmente um “wafer” (ou bolacha) de material
semicondutor (1), criando uma região localizada de defeitos em forma de bolhas no
volume do material (4) definindo a separação entre o volume do material (5) e o filme
a ser separado (6), tratamento térmico do material, de maneira a causar a separação
da camada superficial do material resto do seu volume ao longo da região onde
10 estão localizados os defeitos, filme este que pode ser ou não previamente ancorado
por um segundo material rígido(7) dependendo da aplicação desejada. E de acordo
com a presente invenção, o processo de separação ocorre por propagação de
trincas. Também é relatado um processo de evitar o embolhamento da camada
superficial sem a presença de um ancoradouro mecânico, mesmo para camadas
15 finas.