

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**

**TRABALHO DE SOLIDIFICAÇÃO**

**TEMA: MÉTODO CZOCHRALSKI**

**GRUPO 2:**

**GREGORY MORENO**

**RAFAEL MELHEM**

**RAMIZ LATIF**

**RENAN GRAL**

**TÚLIO RODRIGUES**

**VITOR LOPES**

**Professor Gilberto Coelho**

**LORENA 2012**

## **Método Czochralski – CZ**

É a técnica utilizada em 90% dos casos para obter Silício com pureza na ordem de 99,99% a 99,9999999%. O processo consiste em derreter o Silício Policristalino (pc-Si) num cadinho / reator, sob atmosfera controlada e em temperatura na ordem de 1500°C. Nesse, adiciona-se elementos dopantes ou impurezas, com quantidades controladas e necessárias para a formação de um material com características semicondutoras, denominados de material tipo-N ou tipo-P.

Os elementos normalmente utilizados como dopantes para formação do material tipo-N (características pentavalente) é o Fósforo (P), ou o Arsênio (As), ou o Antimônio (Sb), etc., e os elementos dopantes para formação do material do tipo-P (características trivalentes) normalmente é o Boro (B), ou o Alumínio (Al), ou o Gálio (Ga), etc. Uma amostra do cristal que se deseja obter (semente de Silício Monocristalino -mc-Si) é mergulhada no cadinho contendo Silício Policristalino (pc-Si) derretido e essa semente é levantada lentamente numa velocidade na ordem de cm/hora, e em movimentos rotatórios.

No Silício derretido, seus átomos se cristalizam em torno da semente e estendem uma estrutura em formato de lingote com orientação cristalina igual a da semente (figura 1), porem com diâmetro que depende dos fatores de temperatura, da velocidade de elevação e rotação da semente e da velocidade de rotação do cadinho. Já estendido e formado o lingote de Silício, este é fatiado em finos discos, formando os wafers que serão processados a fim da obtenção de dispositivos semicondutores para a indústria eletroeletrônica. Para cada centímetro de lingote fatiado, obtém-se uma média de 20 a 30 unidades de wafers (20 a 30 Wafer/cm).

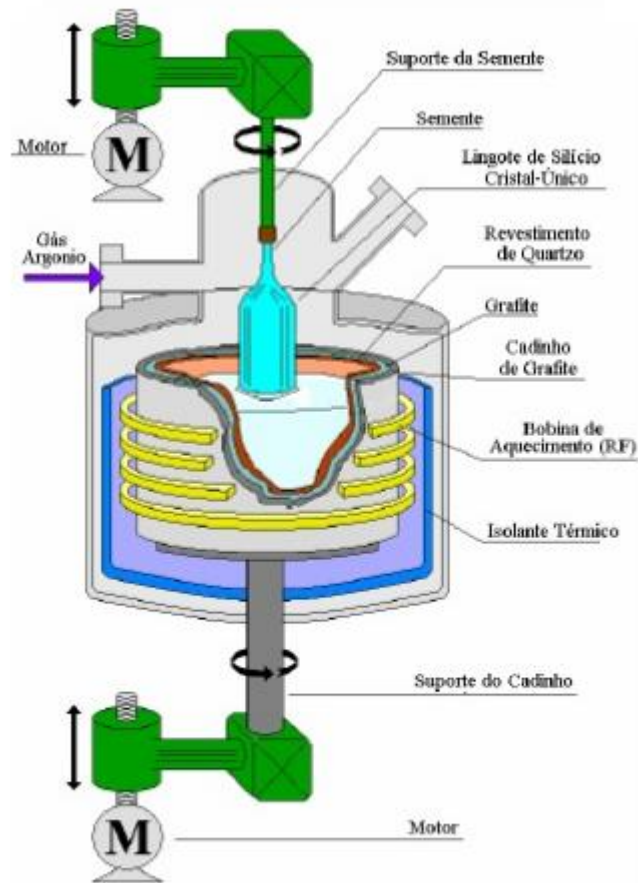


Figura 1 - Desenho esquemático do método Czochralski

O metal fundido é mantido em um cadinho de quartzo envolvido por um radiador de grafite. O grafite é aquecido por indução de radiofrequência, e a temperatura é mantida em alguns graus acima da temperatura de fusão do metal, em uma atmosfera de Hélio ou Argônio. Após a semente ter sido introduzida no metal líquido, ela é puxada gradualmente no sentido vertical e ao mesmo tempo em que é rotacionada. O metal fundido derrete a ponta da semente e, à medida que a semente é puxada ocorre a solidificação, devido a diferença de temperatura imposta pela atmosfera. Quando o metal líquido, em contato com a semente esfria, ele assume a forma e a orientação cristalina da semente. O diâmetro do tarugo é determinado pelas taxas de velocidade de tracionamento e de rotação. A formação do tarugo varia de 30 a 180mm/hora. O processo é ilustrado na figura 2 abaixo:



O método Czochralski (CZ), apresenta uma relação onde o Silício solidificado apresenta uma concentração de material dopante inferior ao Silício em estado líquido(fundido). A concentração de material dopante (impurezas) aumenta à medida que a barra de cristal cresce, sendo menor do lado da semente. No Silício (Si), existe Oxigênio(O) devido à dissolução dos cristais de Dióxido de Silício ( $\text{SiO}_2$ ). Este Oxigênio torna-se problemático somente para as aplicações onde o material será utilizado na produção de dispositivos que irão operar em alta potência, e onde são necessários elementos com alto índice de resistividade. Para ser rentável energeticamente, um dispositivo fotovoltaico manufaturado por esse processo deve trabalhar por um período de tempo maior de três anos para equivalência de energia elétrica dispensada na sua fabricação e da energia gerada por esse. Esse período é chamado de energy pay-back Time. Os custos relacionados com o produto acabado nesse processo são distribuídos da seguinte forma:

- 30% no processo de manufatura (maquinário + energia)
- 20% no processo de corte e polimento dos wafers,
- 20% na fabricação do elemento célula fotovoltaica
- 30% com os processos de fabricação do módulo fotovoltaico (estrutura de moldura externa, cabeamento elétrico, proteções).

## Referências

- ☐ [http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski\\_process](http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski_process)
- ☐ [http://www.h2g2.com/approved\\_entry/A912151](http://www.h2g2.com/approved_entry/A912151)
- ☐ [http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture\\_2/materials/Czochralski\\_1.gif](http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture_2/materials/Czochralski_1.gif)
- ☐ <http://www.gcfs.eu/datapool/page/66/cz01.jpg>
- ☐ <http://i.wp.pl/a/f/jpeg/21736/ostaszewski.jpeg>
- ☐ <http://www.siliconsaxony.de/set/1675/thumbnails/siltronic.jpg.152778.jpg>
- ☐ <http://www.physics.aamu.edu/czlab/gallery.php>
- ☐ [http://www.iqep.com/galaxy/\\_images/Czochralski.jpg](http://www.iqep.com/galaxy/_images/Czochralski.jpg)
- ☐ <http://projecteureka.wordpress.com/2011/11/09/jan-czochralski/>
- ☐ [http://www.newhome.com.br/HTMLs/Ekohome/Solar/Fotovoltaiico/Cristalino/fabrica\\_fotovolt.htm](http://www.newhome.com.br/HTMLs/Ekohome/Solar/Fotovoltaiico/Cristalino/fabrica_fotovolt.htm)
- ☐ <http://www.theimage.com/newgems/synthetic/syntheticanimate2.html>