

**SMM-0194**  
**Engenharia e Ciência dos**  
**Materiais II**

**INTRODUÇÃO A MATERIAIS**  
**NÃO-METÁLICOS**

Prof. Vera Lúcia Arantes

# Definições

- Metais
  
- Cerâmicas
  - Diamante
  
- Polímeros
  
  
- Semicondutores
  
  
- Compósitos

# Definições

□ A palavra **cerâmicas** vem do grego *keramos*, que significa olaria. A palavra **Keramos** está relacionada ao sânscrito significando “queimar”.

□ Kingery et al. (1976):

“Cerâmicas são sólidos inorgânicos, não metálicos”.

Outros autores incluem “uso e ou processamento em altas temperaturas”

- 
- [http://global.kyocera.com/company/use\\_scene/home.html](http://global.kyocera.com/company/use_scene/home.html)

✚ materiais cerâmicos são compostos pela combinação de elementos metálicos e não metálicos ou de elementos metálicos. Podem ser simples ou complexos.

✚ Exemplos:  $\text{SiO}_2$ (sílica),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) ,  
 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  (talco)

- **Sílica e alumina – $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ –(principais constituintes da crosta terrestre) e outros óxidos:  $\text{MgO}$ ,  $\text{Bi}_3\text{O}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , etc**
- **●Carbonatos, fosfatos, halogenetos alcalinos ( $\text{NaCl}$ ) ...**
- **●Carbetos ( $\text{TiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{C}_4$ ...), nitretos ( $\text{GaN}$  ...), boretos ...**
- **●Óxidos, fluoretos, carbetos complexos:  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ,  $\text{BaLiF}_3$ ,  $\text{LiCaAlF}_6$ ,  $\text{Ti}_3\text{SiC}_2$ , ...**

# Propriedades gerais

- É frágil?
- “Cerâmicas são isolantes”?
- Todos os materiais cerâmicos são isolantes térmicos?



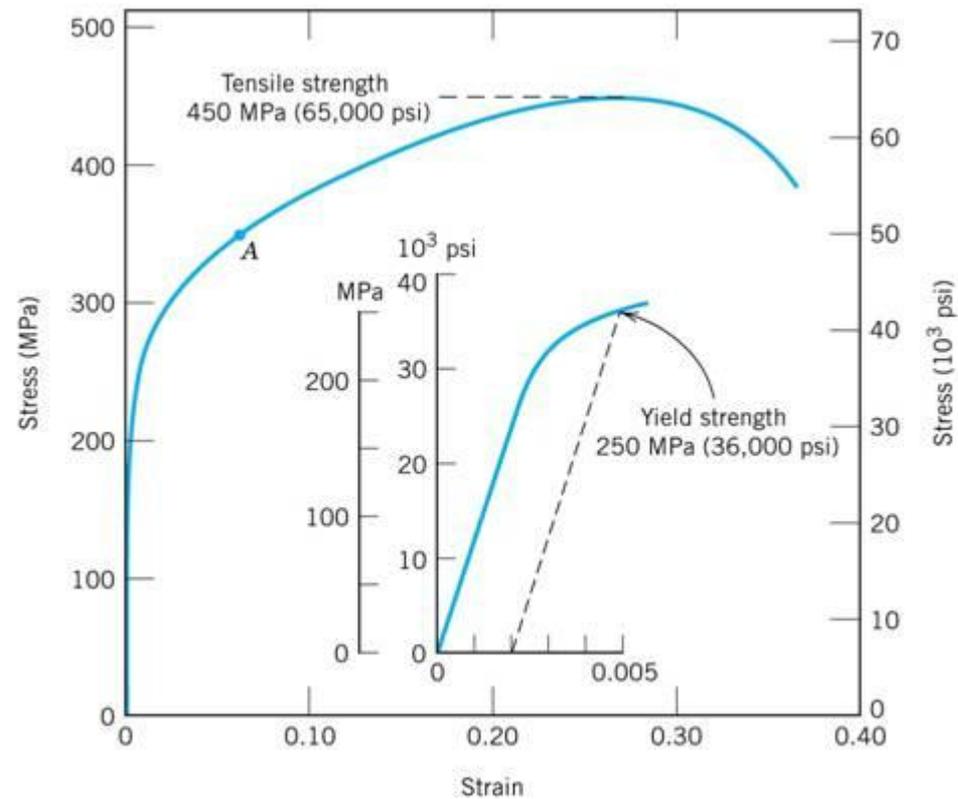
**Materiais metálicos**

**X**

**Materiais cerâmicos**

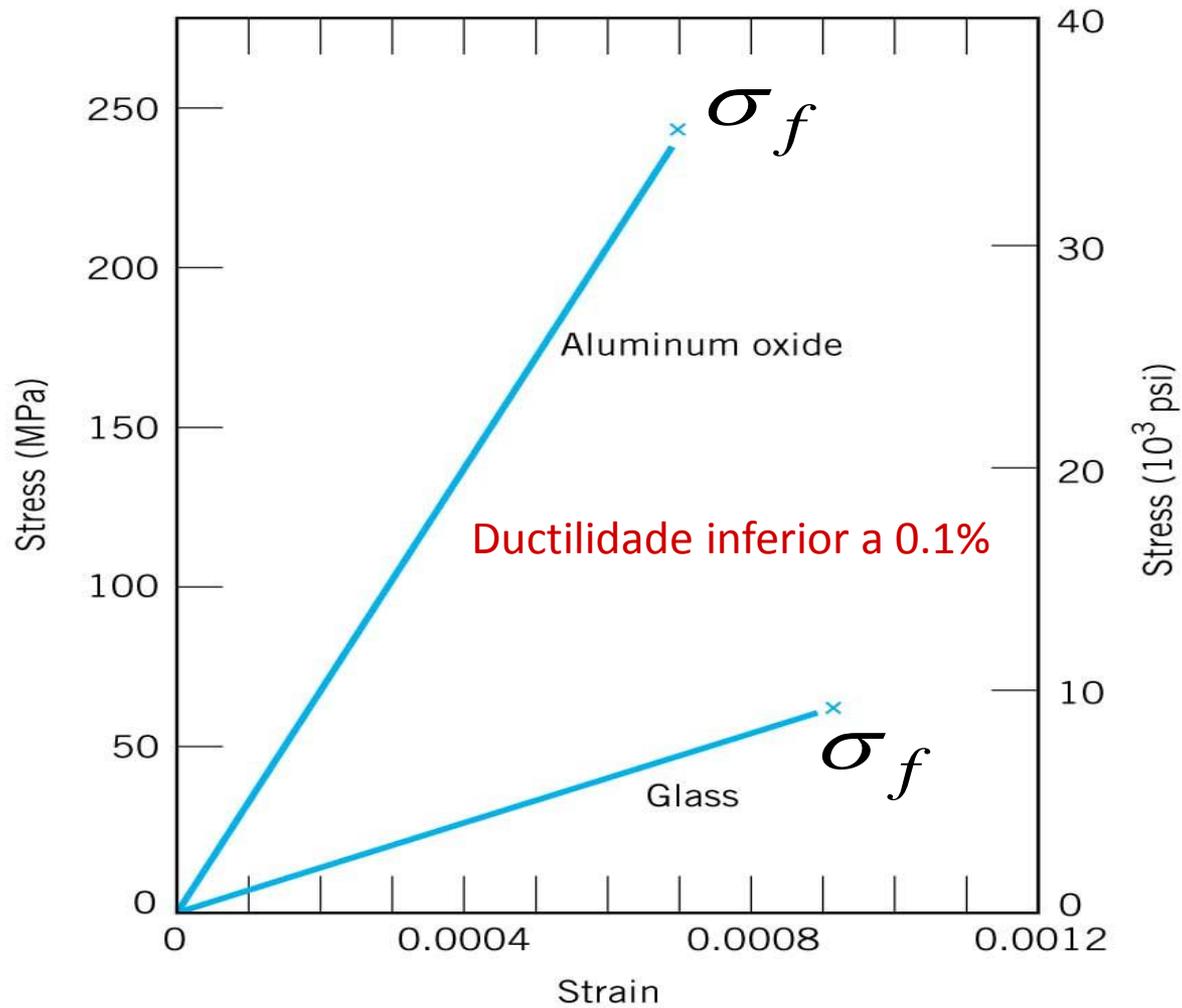
# Relembrando.....

## □ Propriedades mecânicas



# Propriedades determinadas no ensaio de tração (ou flexão)





# Propriedades Gerais

- ❑ Fratura frágil
  - ❖ Presença de defeitos críticos provenientes do processamento
  - ❖ Mudança de comportamento em altas temperaturas
- ❑ Resistência a compressão

# Propriedades mecânicas

Descreve a maneira como um material responde a aplicação de força, carga e impacto.

Os materiais cerâmicos , em temperatura ambiente são:

- ✚ Duros
- ✚ Resistentes ao desgaste
- ✚ Resistentes à corrosão
- ✚ Frágeis (não sofrem deformação plástica)

# Propriedades Gerais

## □ Condutividade elétrica

+ isolantes: Alumina, vidro de sílica ( $\text{SiO}_2$ )

+ semicondutores:  $\text{SiC}$ ,  $\text{B}_4\text{C}$

+ supercondutores:  $(\text{La}, \text{Sr})_2\text{CuO}_4$ ,  $\text{TiBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{11}$

# Propriedades Gerais

- ❑ Condutividade elétrica
- ❑ [http://global.kyocera.com/company/use\\_scene/home.html](http://global.kyocera.com/company/use_scene/home.html)

# Propriedades Gerais

## □ Condutividade térmica

+ capacidade calorífica ( ↑↑ )

+ coeficiente de expansão térmica ( ↓↓ )

+ condutividade térmica

# Propriedades Gerais

## ❑ Condutividade térmica

<b>Material</b>	<b>Capacidade calorífica (J/Kg.K)</b>	<b>Coeficiente linear de expansão térmica(( C)<sup>-1</sup>x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>Condutividade térmica (W/m.K)</b>
Alumínio	<b>900</b>	<b>23,6</b>	<b>247</b>
Cobre	<b>386</b>	<b>16,5</b>	<b>398</b>
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	<b>775</b>	<b>8,8</b>	<b>30,1</b>
Sílica fundida (SiO <sub>2</sub> )	<b>740</b>	<b>0,5</b>	<b>2,0</b>
Vidro de cal de soda	<b>840</b>	<b>9,0</b>	<b>1,7</b>
Polietileno	<b>2100</b>	<b>60-220</b>	<b>0,38</b>
Poliestireno	<b>1360</b>	<b>50-85</b>	<b>0,13</b>

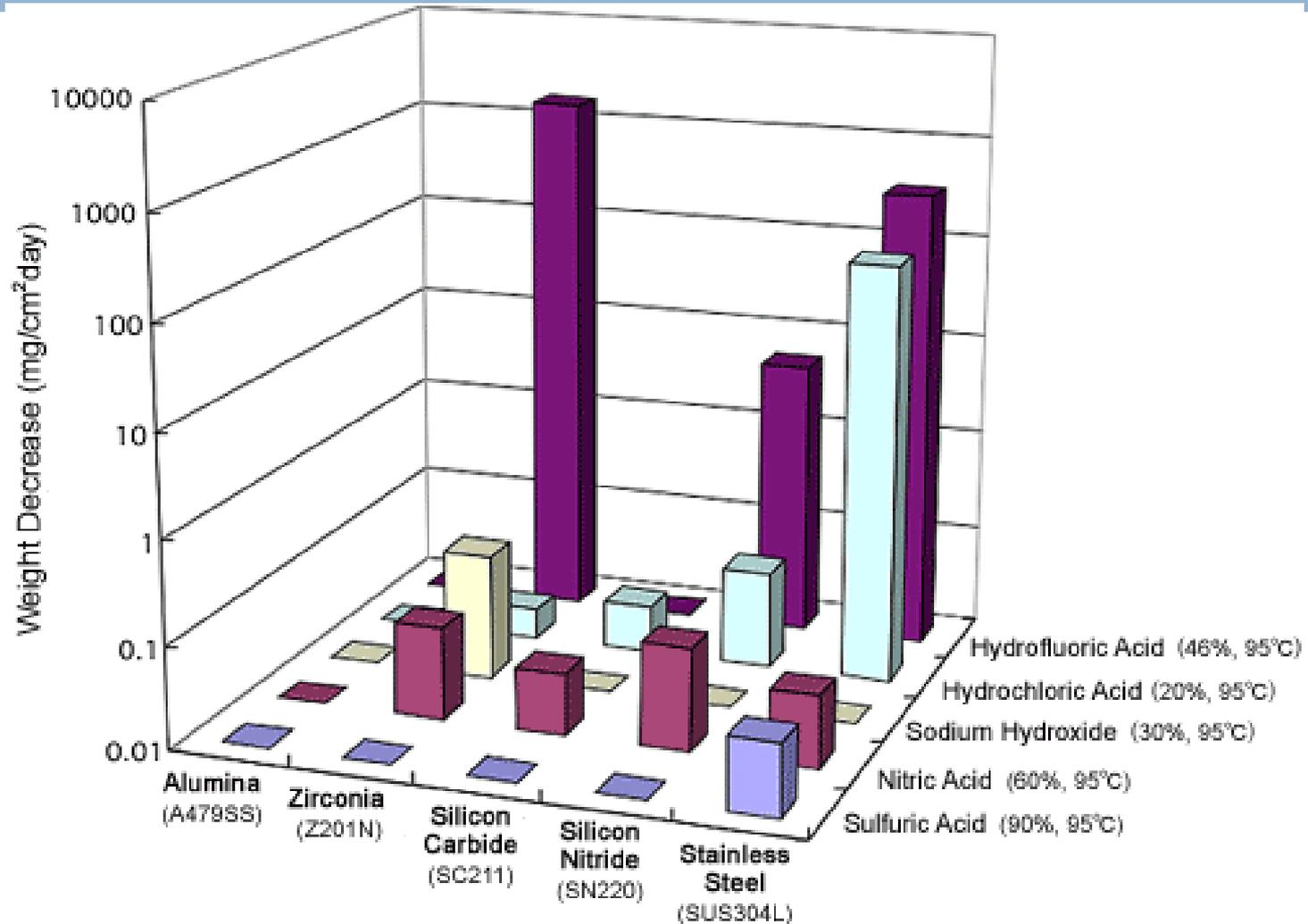
# Alguns valores de condutividade térmica

(W/m.°K = J/m.s.°K)

- Diamante tipo IIA:  $2,3 \times 10^3$
- **SiO<sub>2</sub> : 1,4**
- **SiC:  $4,9 \times 10^2$**
- concreto:  $9,3 \times 10^{-1}$
- Prata:  $4,29 \times 10^2$
- vidro:  $9,5 \times 10^{-1}$
- Cobre:  $4,01 \times 10^2$
- polietileno:  $3,8 \times 10^{-1}$
- Alumínio :  $2,37 \times 10^2$
- Teflon:  $2,25 \times 10^{-1}$
- Ferro:  $8,02 \times 10^1$
- madeira :  $1,6 \times 10^{-1}$
- **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:  $3,5 \times 10^1$**
- **Fibra de vidro :  $5 \times 10^{-3}$**

# Propriedades Gerais

## Estabilidade química



(Measuring method / Measurements conform to JIS R 1614-1993 / ISO 17092: 2005)

# Propriedades Gerais

## □ **Propriedades óticas**

- ✦ Transparência – Janelas, lentes, artigos de laboratório etc.
- ✦ Conversão de luz em eletricidade – Laser, eletrônica (LED's).
- ✦ Luminescência – Lâmpadas elétricas e telas de TV.
- ✦ Reflexão – Fibras óticas (telefonia, TV a cabo etc).

# Classificação

## Cerâmicas tradicionais X Cerâmicas avançadas

- ❑ **Tradicionais:** As matérias-primas são naturais, com poucas etapas e custos envolvidos no tratamento das mesmas
- ❑ **Avançadas:** As MPs passam por diversas etapas de tratamento, como purificação e processos de diminuição de tamanho de partículas.

# Classificação

## **Critério: estrutura cristalina**

### □ **Cerâmicas**

Materiais cristalinos, com arranjo periódico e repetitivo

### □ **Vidros**

Materiais amorfos, com propriedades bastante características

○ processo de fabricação dessas duas classes é bastante distinto (queima e fusão)

# Classificação

## **Critério: ligação química**

- **Iônicas** : óxidos e silicatos (alumina, silicatos hidratados de alumínio e de magnésio – talco)
- **Covalentes**: nitretos, carbetos, boretos e silicetos

Obs.: nenhuma cerâmica apresenta ligação química puramente iônica ou 100% covalente

# Classificação por categorias

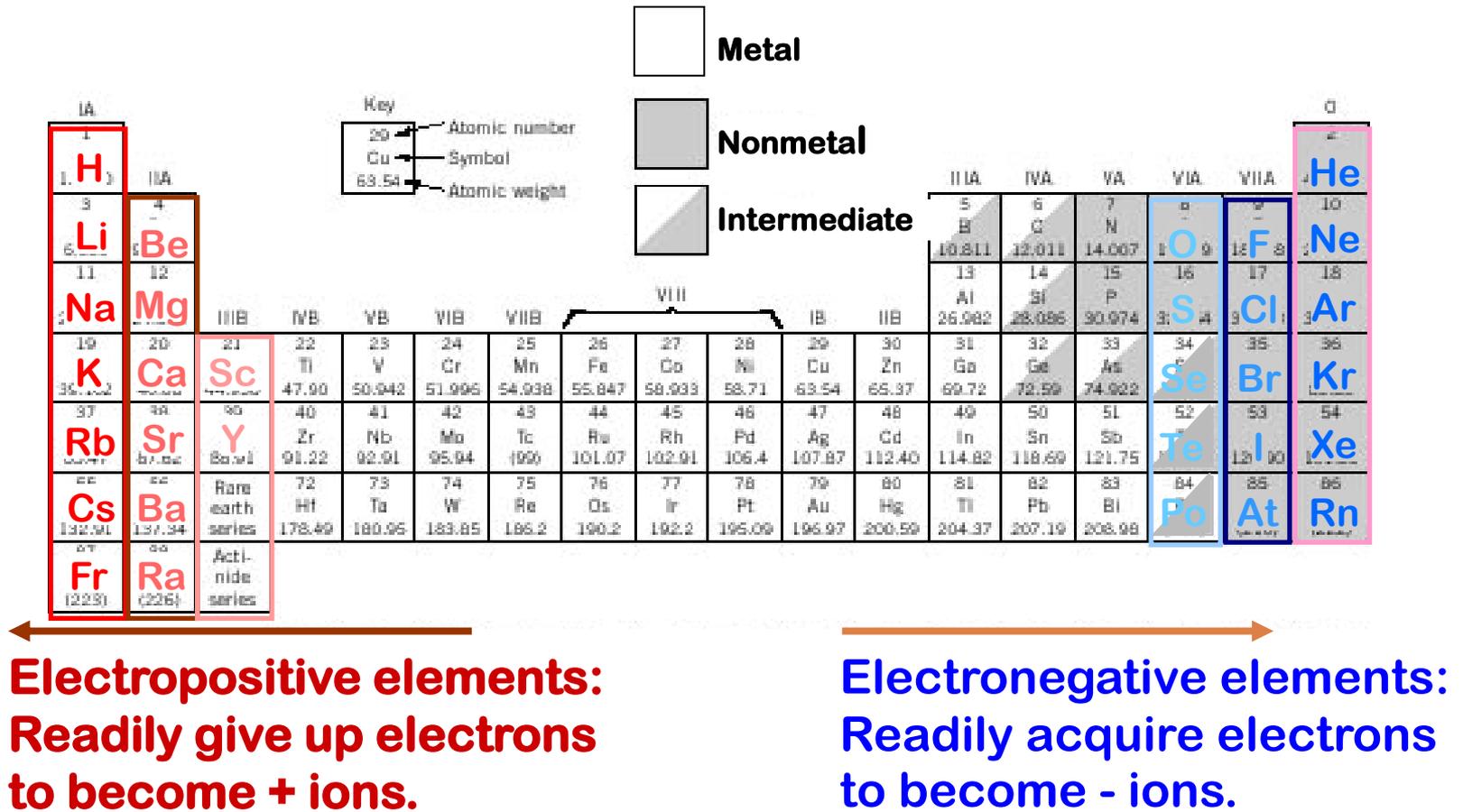
- Produtos estruturais de argila (tijolo, tubulação de esgoto, coberturas e parede de azulejo, fornos de combustão, etc)
- **Whitewares** (telha, louça piso e parede, porcelana elétrica, etc)
- **Refratários** (tijolo e produtos monolíticos usados na produção de metais, vidros, cimento, cerâmicas, conversão de energia, petróleo, produtos químicos e indústrias)
- **Vidros** (vidro plano (janelas), recipiente de vidro (garrafas), vidro prensado e soprado (louça), fibras de vidro (isolamento em casa), e vidro avançado / especialidade (fibras ópticas))
- **Abrasivos** (abrasivos naturais (granada, diamante, etc) e sintéticos (carboneto de silício, diamante, alumina fundida, etc) são usados para moagem, corte, polimento, lapidação, ou jateamento a pressão dos materiais)
- **Cimentos** (para estradas, pontes, edifícios, barragens e etc)

# Cerâmicas avançadas

- **Estruturais** (peças de desgaste, biocerâmica, ferramentas de corte, e componentes de motores)
- **Elétrica** (capacitores, isoladores, substratos, pacotes de circuitos integrados, piezelétrica, ímãs e supercondutores)
- **Revestimentos** (componentes de motor, ferramentas de corte, e peças de desgaste industriais)
- **Cerâmicas químicas e ambientais** (filtros, membranas, catalisadores, e suportes de catalisador)

<b><i>Segmento industrial</i></b>	<b><i>Exemplos</i></b>
<b><i>Cerâmica vermelha</i></b>	Tijolos, manilhas, telhas
<b><i>Cerâmica branca</i></b>	Cerâmica de hotel, revestimentos, louça sanitária, porcelana elétrica, artigos decorativos
<b><i>Refratários e isolantes</i></b>	Tijolos e peças monolíticas usadas na fabricação de aço e outras ligas, vidros, cerâmicas e indústrias química e petrolíferas
<b><i>Vidros</i></b>	Vidros planos (janelas), artigos para casa, fibras de vidro, fibras óticas
<b><i>Abrasivos</i></b>	Carbeto de silício, diamante, alumina fundida são usadas como abrasivos particulados, rebolos, esmeril
<b><i>Cimentos</i></b>	Usados para produção de cimentos e concreto na indústria de construção civil: pontes, prédios, represas
<b><i>Cerâmicas estruturais</i></b>	Engrenagens, biocerâmicas, ferramentas de corte
<b><i>Cerâmicas elétricas</i></b>	Capacitores, isoladores de alta tensão, substratos, circuitos integrados, piezoelétricos, supercondutores
<b><i>Recobrimentos</i></b>	Peças de motores, ferramentas de corte e engrenagens industriais
<b><i>Cerâmicas químicas</i></b>	Filtros, membranas, catalisadores e suportes para catalisadores

# Ligação química



# Desafios (FUTURO)

## ❑ **Cerâmicas estruturais**

- Redução de preços dos produtos finais
- Aumento de confiabilidade
- Aumento de reprodutibilidade

# Desafios

- ❑ **Cerâmicas eletrônicas**
- ✓ **Integração com a tecnologia de semicondutores já existente**
- ✓ **Otimização do processamento**
- ✓ **Compatibilização com outros materiais**

# Desafios

## ❑ **Biocerâmicas**

- ✓ **Compatibilização entre propriedades mecânicas do material sintético e do corpo humano**
- ✓ **Otimização do processamento**
- ✓ **Compatibilização com outros materiais**

# Desafios

- ❑ **Revestimentos e filmes**
- ✓ **Elucidação do fenômeno de deposição e crescimento de filmes**
- ✓ **Otimização da adesão entre o filme e substrato**
- ✓ **Aumento de reprodutibilidade**

# Desafios

## ❑ **Nanocerâmicas**

- ✓ **Desenvolvimento de novas composições**
- ✓ **Integração com outros dispositivos**
- ✓ **Conhecimento do impacto sobre a sociedade**

# Processamento





## **Cerâmica Branca**

**Este grupo é bastante diversificado, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor e que eram assim agrupados pela cor branca da massa, necessária por razões estéticas e/ou técnicas. Com o advento dos vidrados opacificados, muitos dos produtos enquadrados neste grupo passaram a ser fabricados, sem prejuízo das características para uma dada aplicação, com matérias-primas com certo grau de impurezas, responsáveis pela coloração.**

- louça sanitária**
- louça de mesa**
- isoladores elétricos para alta e baixa tensão**
- cerâmica artística (decorativa e utilitária).**
- cerâmica técnica para fins diversos, tais como: químico, elétrico, térmico e mecânico.**

## ***Materiais Refratários***

**Este grupo compreende uma diversidade de produtos, que têm como finalidade suportar **temperaturas elevadas** nas condições específicas de processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações. Para suportar estas solicitações e em função da natureza das mesmas, foram desenvolvidos inúmeros tipos de produtos, a partir de diferentes matérias-primas ou mistura destas. Dessa forma, podemos classificar os produtos refratários quanto a matéria-prima ou componente químico principal em: sílica, sílico-aluminoso, aluminoso, mulita, magnesianocromítico, cromítico-magnésiano, carбето de silício, grafita, carbono, zircônia, zirconita, espinélio e outros.**

## *Isolantes Térmicos*

**Os produtos deste segmento podem ser classificados em:**

- a) refratários isolantes que se enquadram no segmento de refratários,**
- b) isolantes térmicos não refratários, compreendendo produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha, que são obtidos por processos distintos aos do item a) e que podem ser utilizados, dependendo do tipo de produto até 1100 °C**
- c) fibras ou lãs cerâmicas que apresentam características físicas semelhantes as citadas no item b), porém apresentam composições tais como sílica, sílica-alumina, alumina e zircônia, que dependendo do tipo, podem chegar a temperaturas de utilização de 2000° C ou mais.**

## *Fritas e Corantes*

Estes dois produtos são importantes matérias-primas para diversos segmentos cerâmicos que requerem determinados acabamentos.

**Frita** (ou vidro fritado) é um vidro moído, fabricado por indústrias especializadas a partir da fusão da mistura de diferentes matérias-primas. É aplicado na superfície do corpo cerâmico que, após a queima, adquire aspecto vítreo. Este acabamento tem por finalidade aprimorar a estética, tornar a peça impermeável, aumentar a resistência mecânica e melhorar ou proporcionar outras características.

**Corantes** constituem-se de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos obtidos a partir da mistura de óxidos ou de seus compostos. Os pigmentos são fabricados por empresas especializadas, inclusive por muitas das que produzem fritas, cuja obtenção envolve a mistura das matérias-primas, calcinação e moagem. Os corantes são adicionados aos esmaltes (vidrados) ou aos corpos cerâmicos para conferir-lhes colorações das mais diversas tonalidades e efeitos especiais.

## Abrasivos

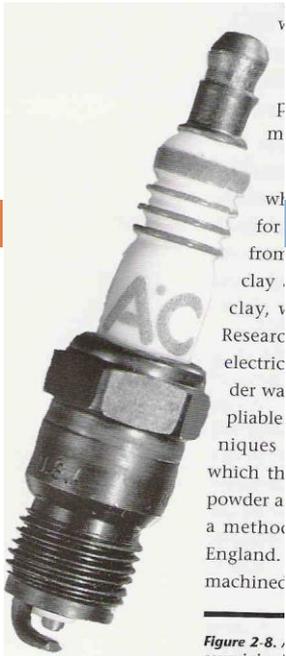
Parte da indústria de abrasivos, por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constituem-se num segmento cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos podemos citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carbetto de silício.

## ***Vidro, Cimento e Cal***

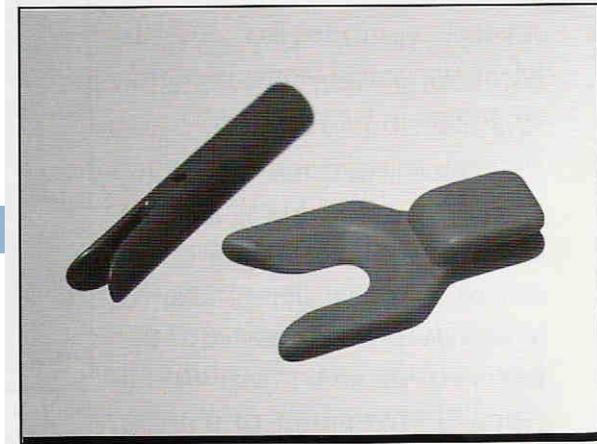
São três importantes segmentos cerâmicos e que, por suas particularidades, são muitas vezes considerados à parte da cerâmica.

## ***Cerâmica de Alta Tecnologia/Cerâmica Avançada***

O aprofundamento dos conhecimentos da ciência dos materiais proporcionaram ao homem o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramento das existentes nas mais diferentes áreas, como aeroespacial, eletrônica, nuclear e muitas outras e que passaram a exigir materiais com qualidade excepcionalmente elevada. Tais materiais passaram a ser desenvolvidos a partir de **matérias-primas sintéticas de altíssima pureza** e por meio de **processos rigorosamente controlados**. Estes produtos, que podem apresentar os mais diferentes formatos, são fabricados pelo chamado segmento cerâmico de alta tecnologia ou cerâmica avançada. Eles são classificados, de acordo com suas funções, em: **eletroeletrônicos, magnéticos, ópticos, químicos, térmicos, mecânicos, biológicos e nucleares**. Os produtos deste segmento são de uso intenso e a cada dia tende a se ampliar. Como alguns exemplos, podemos citar: **naves espaciais, satélites, usinas nucleares, materiais para implantes em seres humanos, aparelhos de som e de vídeo, suporte de catalisadores para automóveis, sensores (umidade, gases e outros), ferramentas de corte, brinquedos, acendedor de fogão, etc.**

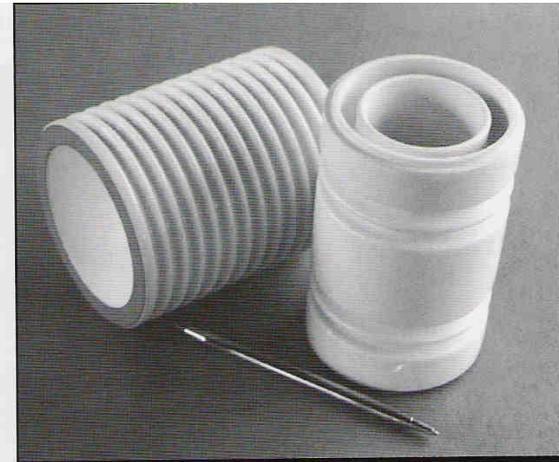
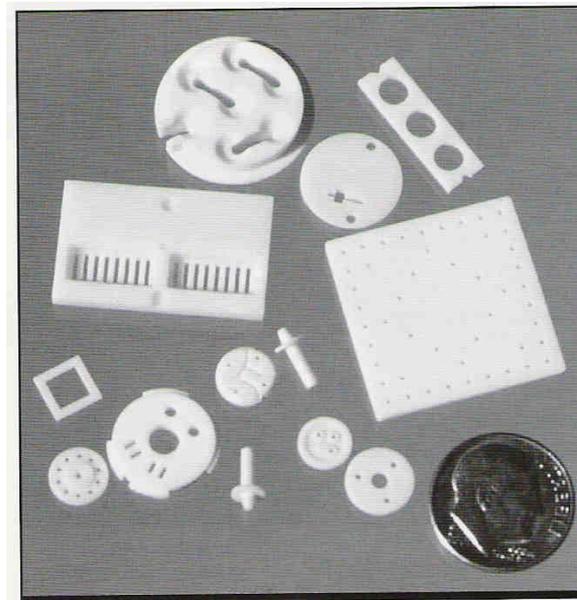


## Vela de ignição



**Figure 11-16.** Alumina thread guides. (Samples from Diamonite Ceramics, about 1985. Photo by D. Richerson.)

## Guias de fios

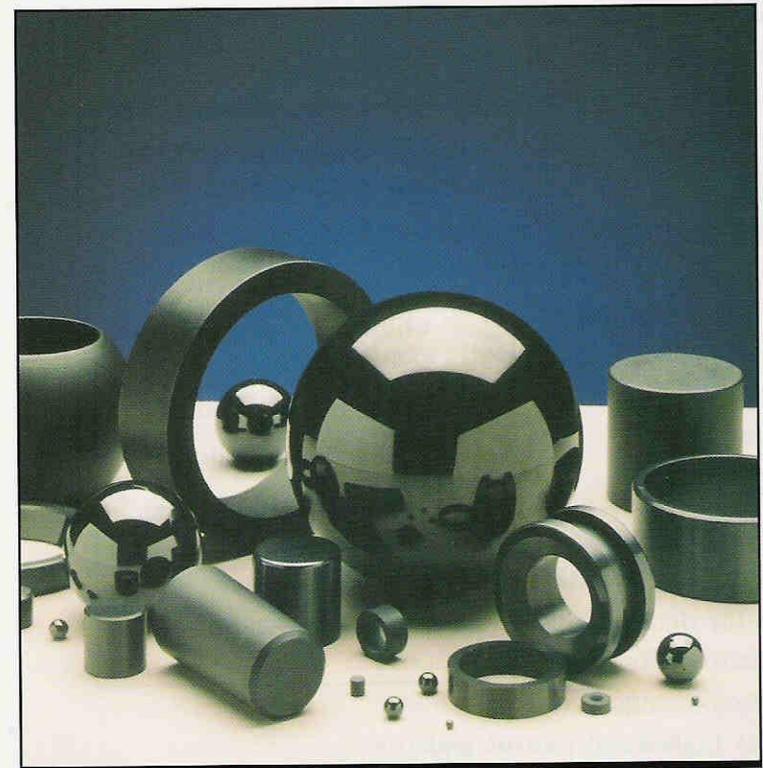


**Figure 6-15.** Medium sized electrical insulators of aluminum oxide. (Samples from Coors Ceramics, Golden, CO. Photo by D. Richerson.)

**Figure 6-14.** (left) Small aluminum oxide electrical insulators for various electrical applications fabricated by Western Gold and Platinum, Belmont, CA, circa 1980. (Photo by D. Richerson.)

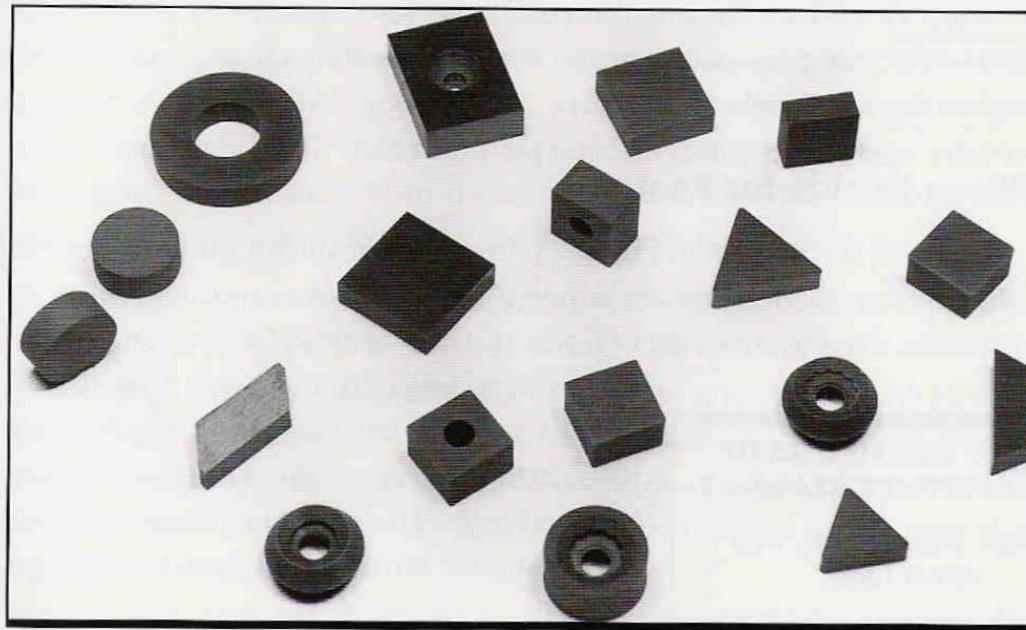


**Ceramic rotors under commercial production**  
**Materials: Sintered silicon nitride**

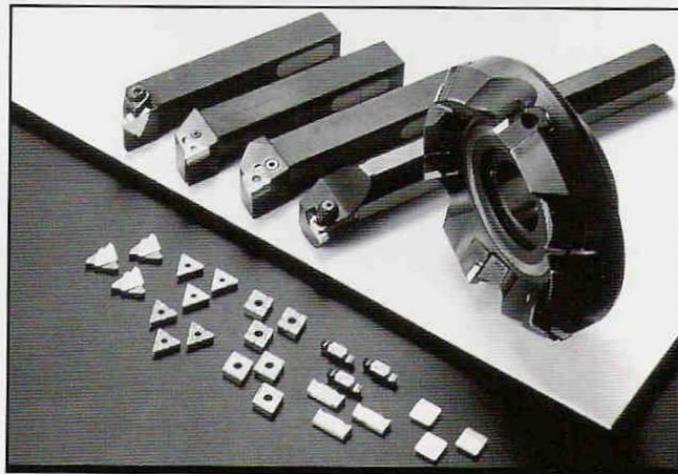


*Figure 5-12. Silicon nitride bearing balls and other bearing and wear-resistant components. (Photograph courtesy of Saint-Gobain/Norton Advanced Ceramics, East Granby, CT.)*

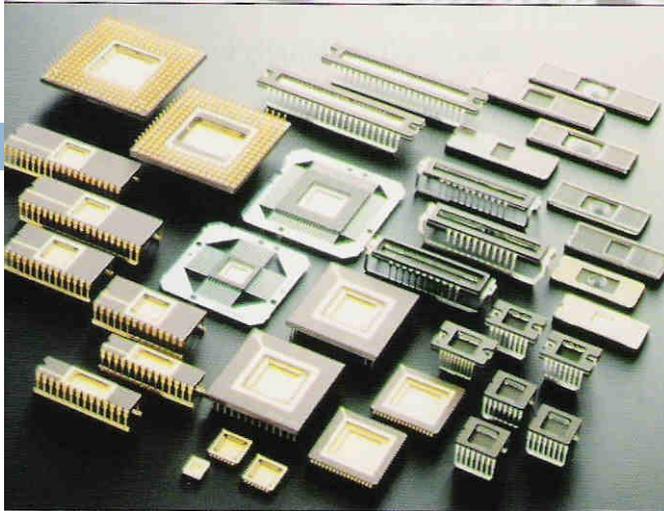
**Peças a base de nitreto de silício para aplicações que exigem resistência a abrasão**



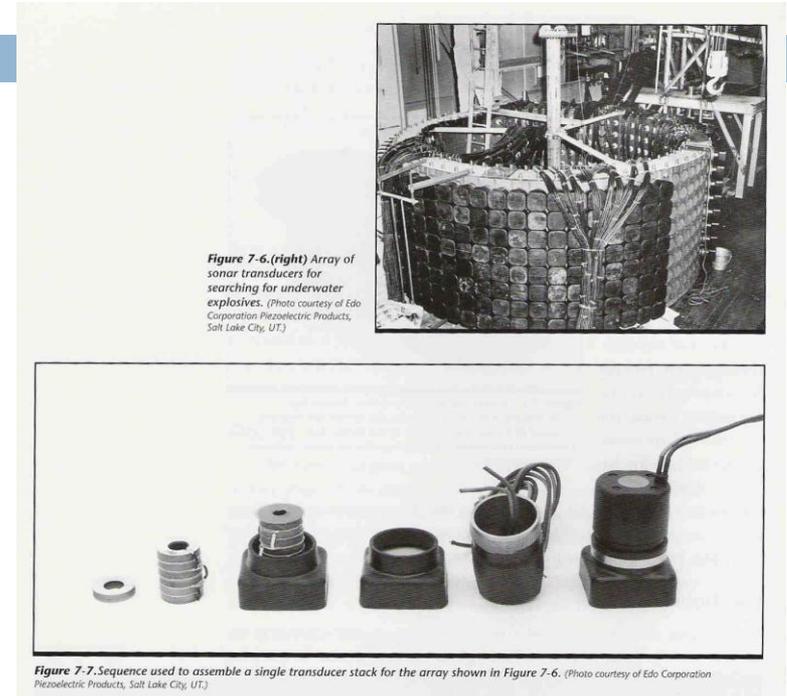
**Figure 5-9.** Silicon nitride ceramic cutting tool inserts. (Photograph courtesy of Ceradyne, Inc., Costa Mesa, CA.)



**Figure 5-10. (left)** Ceramic cutting tool inserts and metal holders. (Photograph courtesy of Kyocera.)

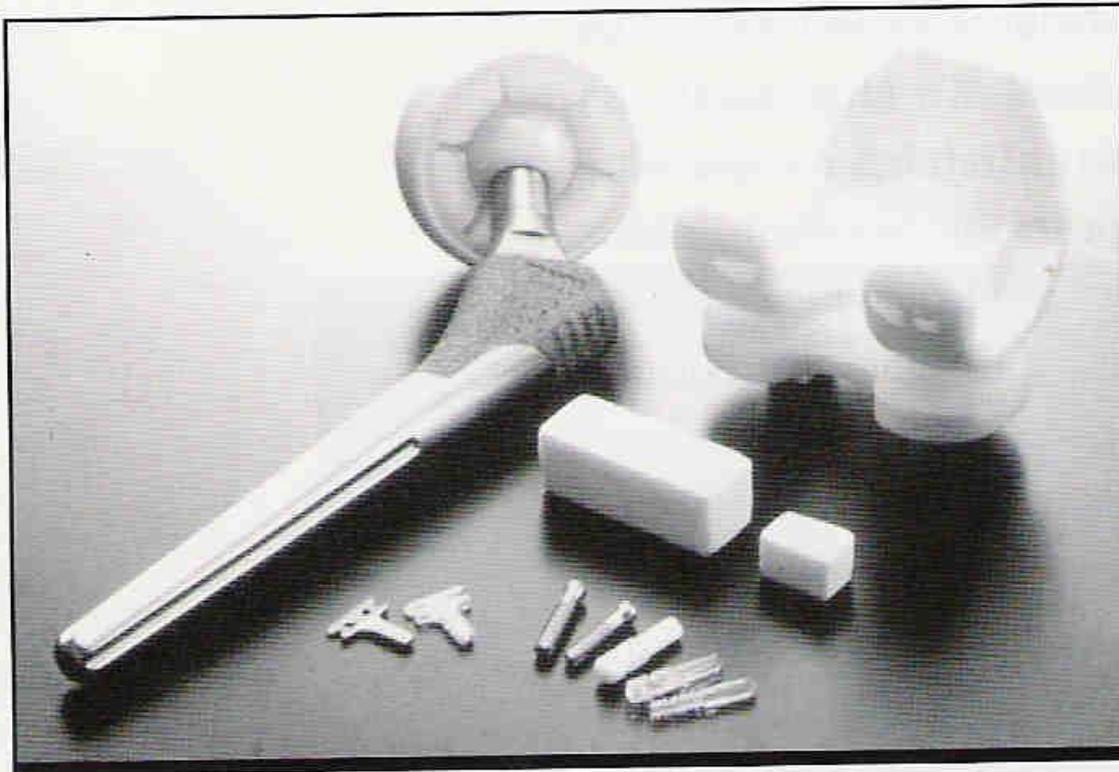


## Cerâmicas eletrônicas

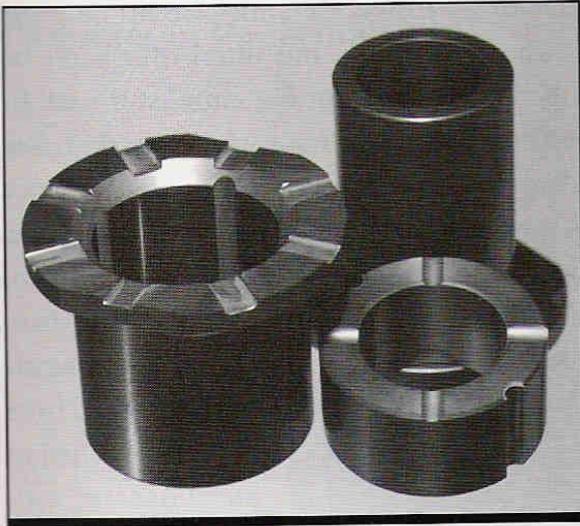


## Cerâmicas piezoelétricas



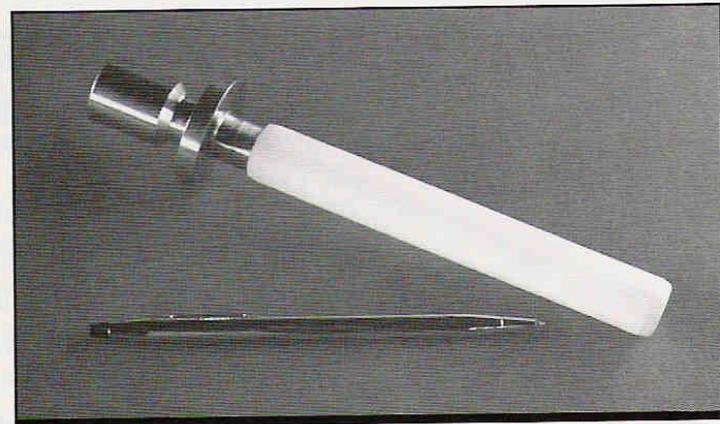
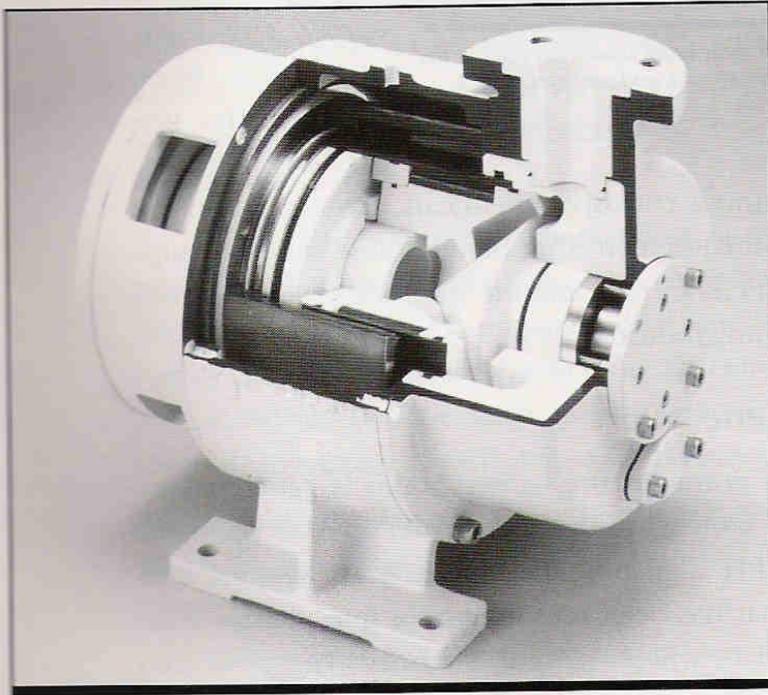


**Figure 8-4.** Hip replacement and other medical applications for ceramics. (Photo courtesy of Kyocera.)



direction and closes, to check the flow, if the fluid tries to flow backwards.

Pumps use not only ceramic seals and valves for wear resistance and chemical resistance but also ceramic bearings, plungers, rotors, and liners. The materials for these parts must survive severe conditions. For example,



**Figure 11-5.(top left) Silicon carbide pump parts.** (Samples supplied by Saint-Gobain/Carborundum Structural Ceramics, Niagara Falls, NY. Photo by D. Richerson.)

**Figure 11-6.(left) Chemicals-industry pump, completely lined with ceramics.** (Photo courtesy of Kyocera.)

**Figure 11-7.(above) Alumina pump plunger bonded to metal.** (Sample supplied by Coors Ceramics, Golden, CO. Photo by D. Richerson.)