

Título da redação: Estilhaços do futuro

Nas planícies férteis da Mesopotâmia 2500 a.C. fundiam-se os primeiros estilhaços de um material que teria a capacidade de mudar as relações humanas com o ambiente^[1]. Tal substância foi trazida para o Egito e espalhou-se pela Europa até chegar na Ásia, tendo suas técnicas de produção aperfeiçoadas a cada passo de sua existência. Essa substância passou a ser chamada de vidro.

O vidro é uma revolução no modo em que percebemos e nos conectamos com o mundo contemporâneo. Nos dias atuais, a maior parte de nossas experiências são vivenciadas através de vidro, seja no café da manhã lendo uma notícia, no trabalho analisando uma planilha de dados ou no final do dia assistindo uma série em um serviço de streaming.

Sendo assim, pode ser tentador subestimar tal tecnologia, uma vez que está tão intrinsecamente ligada ao cotidiano. Entretanto, deve-se observar com cuidado os benefícios que hoje só são possíveis graças a ela. Tecnologias como chips de computador, fios de fibra óptica, fogões por indução e telas de celulares utilizam alguma variação dessa tecnologia. Nos tornamos tão bons em desenvolver vidro que hoje podemos dobrá-lo à nossa vontade, literalmente.

Isto é o que ocorre com a nova tecnologia de vidro dobrável que já está disponível em telas de celulares comuns. A chave para atingir essa flexibilidade é o desenvolvimento de vidro extremamente fino, pois quando o material é menos espesso, a tensão criada pelo seu estiramento é menos concentrada em apenas um ponto, sendo melhor distribuída pela superfície do material. Isso permite que o mesmo seja deformado sem que as suas forças intermoleculares se quebrem^[2].

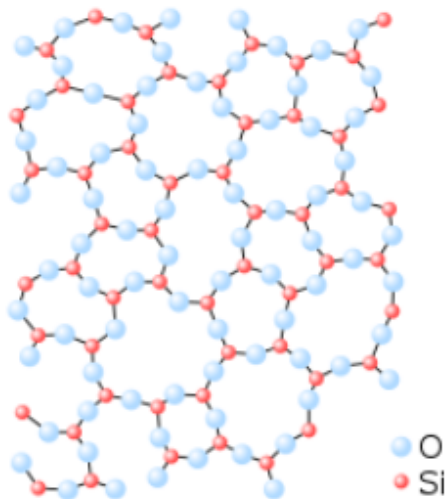


Figura 1. Representação esquemática da posição dos átomos de oxigênio(O) e silício(Si) na estrutura amorfa de vidro. A geometria tetraédrica dos átomos de oxigênio ao redor do silício também está na imagem.

O processo de manufatura que permite que o vidro seja produzido tão fino e flexível pode ser descrito através dos seguintes processos: o vidro é produzido a partir de uma matéria prima rica em óxido de silício(SiO_2)^[3]. O óxido é então aquecido a milhares de graus Celsius até que ocorra sua fusão, formando uma substância pastosa. Em seguida, a mistura é resfriada lentamente sem contato com outras superfícies para que a formação do vidro seja o mais uniforme possível, resultando em um sólido de aproximadamente 2mm^[3]. Então, é aplicada uma cobertura especial ao vidro que depende do formato desejado do produto a ser cortado. Posteriormente, o vidro é cortado novamente entre dois rolos giratórios que polem a superfície do vidro reduzindo ainda mais sua espessura, além de eliminar possíveis imperfeições. Finalmente, o produto obtido é uma “folha vítrea” com menos de 0.07mm de espessura^[4].

A alta temperatura e o posterior resfriamento permitem a formação de uma estrutura tetraédrica do SiO_2 ^[5], que por sua vez são organizadas de tal forma que resultam em um sólido

amorfo(Figura 1) “estático”, que tem pouca capacidade para mudar suas ligações. Esta característica é um grande obstáculo na flexibilização desse tipo de material^[6], pois pequenas imperfeições podem causar um nível alto de “stress” quando o material é estirado, resultando na quebra do mesmo.

Contudo, um vidro feito de óxido de alumínio(Al_2O_3) pode ser a solução, uma vez que foi observado em simulações uma maior maleabilidade em suas ligações permitindo propriedades mais plásticas a este tipo de material. Para se quantificar tais propriedades, uma fina folha de vidro de Al_2O_3 foi submetida a testes de compressão e medidas de tensão. Também foram realizadas simulações atomísticas para se conferir as propriedades do material em nível atômico. Nos testes foi possível observar deformações plásticas no vidro à temperatura ambiente(Figura 2). Tais propriedades podem ser explicadas devido a capacidade do material de translocar átomos sem mudar seu número de coordenação, mantendo o ambiente ao seu redor igual. Esse fenômeno é inversamente proporcional ao stress sofrido pelo vidro, o que causa uma espécie de “gradiente de stress” que diminui as chances de ruptura. Essa propriedade também é encontrada em vidro feito com SiO_2 , porém ocorre entre 8 e 25 vezes menos^[6].

Conclui-se que a alta flexibilidade do material ocorre devido ao gradiente de stress, pois caso o estresse seja concentrado em uma fratura pré existente, criada na fabricação, por exemplo, não se atinge os níveis mínimos necessários para que se ocorra a fratura das estruturas, permitindo uma maior maleabilidade.

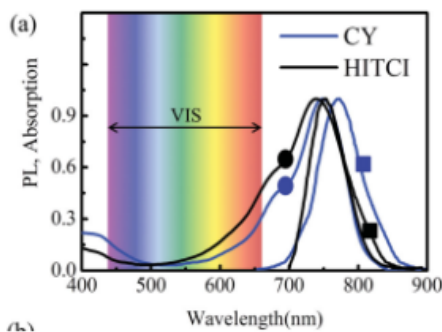


Figura 3. Gráfico representando a absorção em função dos comprimentos de onda do CY(linha azul) e do HITCI (linha preta). Reproduzido e modificado com autorização de Yimu Zhao, Garrett A. Meek, Benjamin G. Levine, Richard R. Lunt. *Advanced Optical Materials*, 2014, 2: 606-611.

À parte desse uso na produção de aparelhos eletrônicos, outra aplicação que demonstra ser muito promissora é a utilização de vidro ultrafino na transformação de energia solar em energia elétrica, podendo tornar janelas em fontes de energia renovável. Para tornar isso possível são utilizados concentradores de luz solar, que são basicamente feitos de uma matriz dielétrica, como certos tipos de vidro^[7], colorida com corantes orgânicos ou inorgânicos capazes de absorver luz^[8] fora do espectro visível(Figura 3), deixando o material com um aspecto transparente e, ainda assim, absorvendo energia. Tal tecnologia também pode ser aplicada em superfícies já existentes, como janelas, sendo necessária a utilização de vidro fino para não prejudicar o aspecto original da superfície.

Entretanto, um dos principais obstáculos para o aprimoramento de tal tecnologia é a limitação no espectro de ondas eletromagnéticas disponíveis para ser absorvidas, devido a grande porção ocupada pela luz visível no espectro da luz solar, fazendo com que a maioria dos compostos utilizados na fabricação dos materiais absorvesse comprimentos na região do ultravioleta que representa uma pequena fração da radiação solar que chega a Terra^[8].

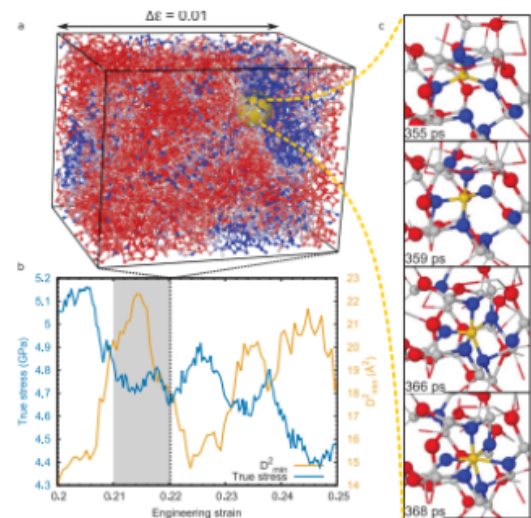


Figura 2. a e c) Mecanismos atomísticos de deformação do Al_2O_3 . Al(azul, dourado e cinza) O(vermelho) b) gráfico indicando o stress real em função da tensão criada. Reproduzido e modificado com autorização de Erka J Frankberg , Janne Kalikka et al. *Pubmed* 2019. Copyright © 2019 The Authors.

Felizmente alguns estudiosos conseguiram utilizar diferentes espécies para absorver luz na região próxima ao infravermelho, aumentando a eficiência do material. O HITCI e CY (Figura 4) foram as moléculas utilizadas para absorver a energia solar. O CY tem seu pico de absorção em 742 ± 1 nm e o HITCI tem o seu em 733 ± 1 nm., ambos após a região da luz visível, conferindo à placa uma altíssima transparência^[8].

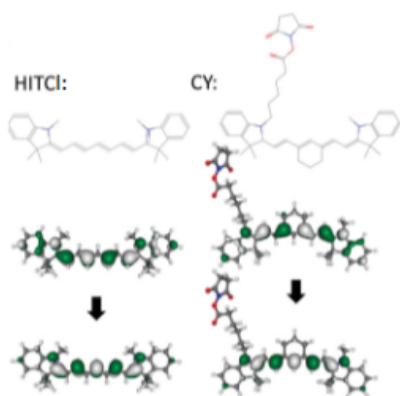


Figura 4. Representação das moléculas de HITCI à esquerda e CY à direita. Reproduzido e modificado com autorização de Yimu Zhao, Garrett A. Meek, Benjamin G. Levine, Richard R. Lunt. *Advanced Optical Materials*, 2014, 2: 606-611.

No estudo em questão, algumas limitações do material são destacadas como a perda de energia coletada devido à reabsorção de fótons através de um fenômeno conhecido como “trocas de Stokes”, que consiste na diferença do comprimento de onda dos picos de absorção e dissipação dos fótons. Em outras palavras, quanto maior o valor das “trocas de Stokes” menor é a energia das partículas dissipadas e portanto, menos energia é perdida por reabsorção.

Esse fenômeno de perda de eficiência já é conhecido no desenvolvimento desses concentradores de luz solar e já foi descrito em diversos artigos^[10] como uma limitação ao seu desenvolvimento. O próprio estudo apresenta uma possível sugestão para mitigar esse problema e melhorar o valor das

“trocas de Stokes” aumentando o tamanho da placa como é possível ver na Figura 5. Contudo, se vê necessário o aprimoramento de técnicas para solucionar esse problema, para que o material tenha sua versatilidade e eficácia maximizados.

Portanto, é imperativo que as tecnologias aqui apresentadas sejam constantemente aprimoradas para que sua utilização seja viável para aplicação em larga escala e tenha seu custo possível para o usufruto da população geral. Da antiguidade até a era da internet, a química teve um papel central no avanço tecnológico da humanidade e deve continuar nos guiando em direção a um futuro mais sustentável e transparente.

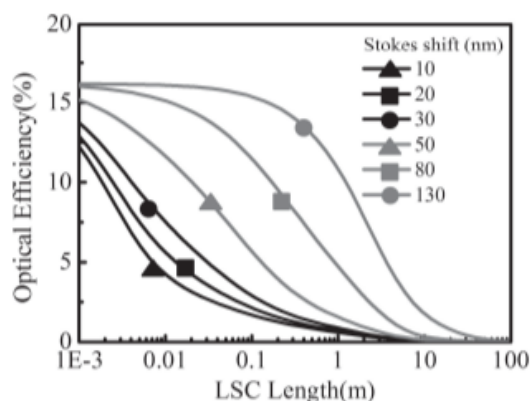


Figura 5. Gráfico da eficiência óptica em função do comprimento da placa. Reproduzido e modificado com autorização de Yimu Zhao, Garrett A. Meek, Benjamin G. Levine, Richard R. Lunt. *Advanced Optical Materials*, 2014, 2: 606-611.

Referências

- [1]VARSHNEYA, Arun Kumar. **History of glassmaking**. Encyclopedia Britannica, 10 Maio. 2016. Disponível em:<<https://www.britannica.com/topic/glass-properties-composition-and-industrial-production-234890/History-of-glassmaking>> Acesso em 28 de fevereiro de 2023.
- [2]Jun Peng, Matthew Grayson, G. Jeffrey Snyder, **What makes a material bendable? A thickness-dependent metric for bendability, malleability, ductility,Matter**. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590238521003623>> Acesso 28 de fevereiro de 2023
- [3]<<https://www.corning.com/worldwide/en/innovation/the-glass-age/science-of-glass/how-it-works-corning-fusion-process.html>>Acesso em 28 de fevereiro de 2023
- [4]<<https://news.samsung.com/in/inside-samsungs-ultra-thin-glass-innovation>> Acesso em 28 de fevereiro de 2023
- [5]<<https://www.pilkington.com/en-gb/uk/architects/glass-information/about-glass/chemistry-of-glass#>>Acesso em 28 de fevereiro de 2023
- [6] Frankberg EJ, Kalikka J, García Ferré F, Joly-Pottuz L, Salminen T, Hintikka J, Hokka M, Koneti S, Douillard T, Le Saint B, Kreiml P, Cordill MJ, Epicier T, Stauffer D, Vanazzi M, Roiban L, Akola J, Di Fonzo F, Levänen E, Masenelli-Varlot K. **Highly ductile amorphous oxide at room temperature and high strain rate**. Science 2019. Disponível em :<<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31727833/>> Acesso em 1 de março de 2023
- [7]Liu, Shaohui and Shen, Bo and Hao, Haoshan and Zhai, Jiwei. **Glass–ceramic dielectric materials with high energy density and ultra-fast discharge speed for high power energy storage applications**. J. Mater. Chem. C, 2019. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/tc/c9tc05253d#:~:text=Abstract,stable%20frequency%2C%20and%20environmental%20friendliness.>>Acesso em 6 de março de 2022
- [8]Zhao, Y., Meek, G.A., Levine, B.G. and Lunt, R.R. **Near-Infrared Harvesting Transparent Luminescent Solar Concentrators. Advanced Optical Materials**.Advanced Optical Materials, 2014. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adom.201400103>>Acesso em 6 de março de 2022
- [9]<https://chem.libretexts.org/Courses/Providence_College/CHM_331_Advanced_Analytical_Chemistry_1/10%3A_Molecular_Luminescence_Spectrometry/10.03%3A_Applications_of_Photoluminescence_Methods/10.3.02%3A_The_Stokes_Shift>Acesso em 8 de março de 2022
- [10]Yang, C., Zhang, J., Peng, WT. *et al.* **Impact of Stokes Shift on the Performance of Near-Infrared Harvesting Transparent Luminescent Solar Concentrators**. Nature, 2018. Disponível em:<<https://www.nature.com/articles/s41598-018-34442-3>>Acesso em 8 de março de 2022