

# СТЕКЛО

Выполнил студент  
группы Т-114  
Долиденко Вячеслав

# ПОНЯТИЕ СТЕКЛА

- Материалистическое понятие стекла - однородное аморфное тело, которое получается при охлаждении стекломассы. Простой пример - берем кубик сахара, нагреваем его до жидкого состояния, а затем охлаждаем. Сахар теряет свою первоначальную кристаллическую структуру и становится аморфным веществом.

В чистой форме, стекло - это прозрачный, износостойкий, относительно прочный, крайне инертный и биологически неактивный материал, обладающий очень гладкой поверхностью. Эти свойства стекла приводят к очень широкому его использованию в различных областях. Есть также некоторые негативные качества - стекло очень хрупкий материал, при разрушении распадается на мелкие и острые частички. Однако эти свойства стекла могут быть модифицированы, или даже изменены полностью, путем добавления других компонентов в состав исходной смеси или термической обработкой.

Обычное стекло содержит в своем составе примерно 70% диоксида кремния, который в таком же виде содержится в кварце, и в его поликристаллической форме, песке.

# ХАРАКТЕРИСТИКА

```
graph TD; A[ХАРАКТЕРИСТИКА] --> B[Жаропрочность]; A --> C[Устойчивость стекол]; A --> D[Сжатие поверхностного слоя]; A --> E[Термостойкость]; A --> F[Период щелочного компонента];
```

Жаропрочность

Устойчивость стекол

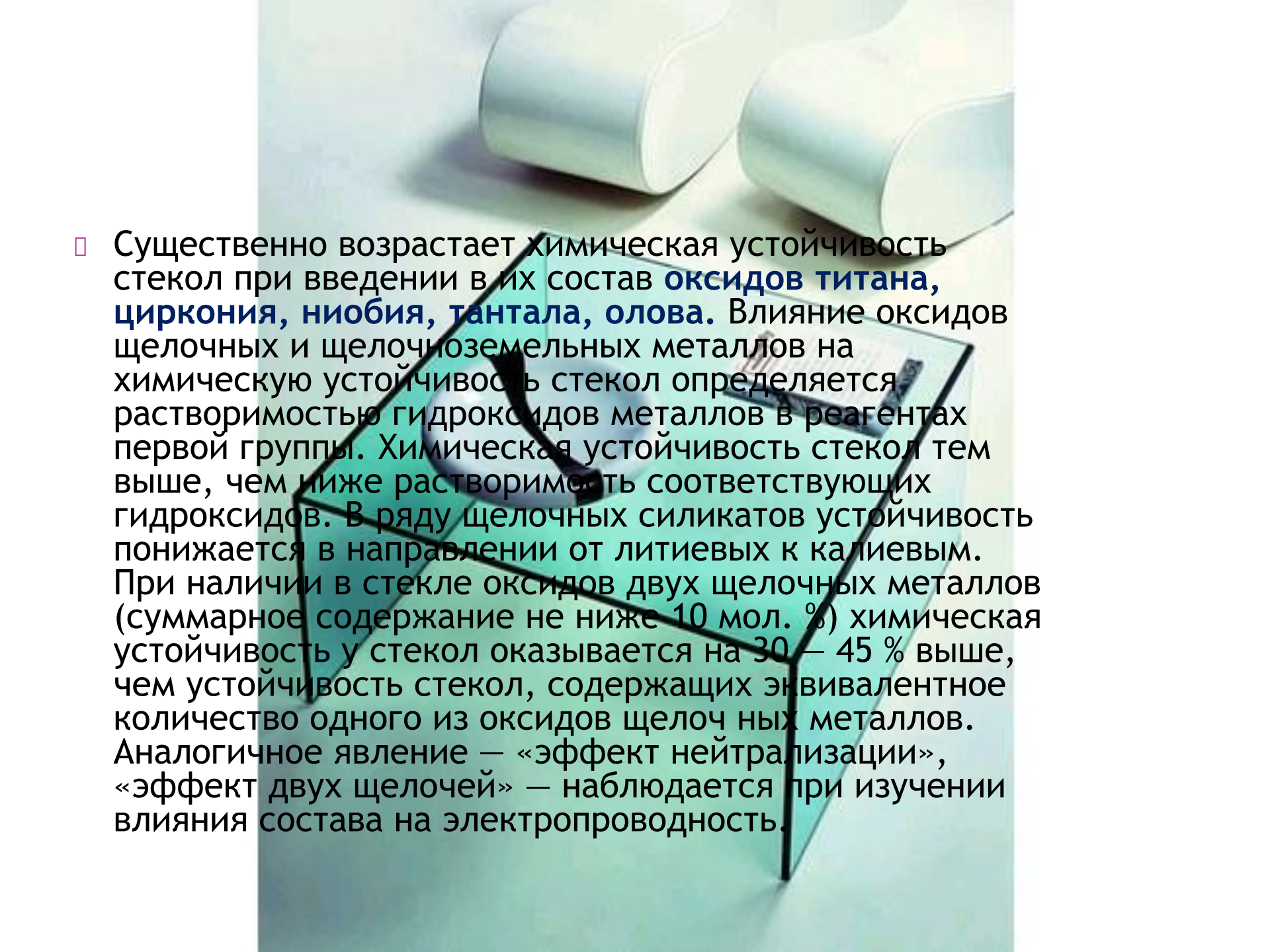
Сжатие  
поверхностного слоя

Термостойкость

Период щелочного  
компонента

# ЖАРОПРОЧНОСТЬ

Жаропрочность характеризует свойство материала выдерживать неоднократное воздействие высоких температур при одновременном действии нагрузки без значительной остаточной деформации. Если поверхность стекла не оmyвается водой или раствором, т. е. если не происходит удаления растворимых продуктов реакции – гидроксидов щелочных и некоторых щелочноземельных металлов, то они могут вызывать глубокие местные разрушения поверхности. Такие условия могут создаваться, например, при упаковке плоских листов стекла в ящики. Тонкие зазоры между листами обладают способностью капилляров втягивать и задерживать влагу. Устойчивость стекол к воде проверяют кипячением порошков, в воде или растворах кислот (1н раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), оценивают по количеству щелочей и других растворимых компонентов, перешедших в раствор. По химической устойчивости стекла делят на пять гидролитических классов. Состав стекла оказывает большое влияние на химическую устойчивость. В серии силикатных стекол высокой химической устойчивостью к действию реагентов первой группы обладают кварцевое стекло, боросиликатные стекла (не более 17 %  $\text{B}_2\text{O}_3$ ), алюмосиликатные стекла.

- 
- Существенно возрастает химическая устойчивость стекол при введении в их состав **оксидов титана, циркония, ниобия, тантала, олова**. Влияние оксидов щелочных и щелочноземельных металлов на химическую устойчивость стекол определяется растворимостью гидроксидов металлов в реагентах первой группы. Химическая устойчивость стекол тем выше, чем ниже растворимость соответствующих гидроксидов. В ряду щелочных силикатов устойчивость понижается в направлении от литиевых к калиевым. При наличии в стекле оксидов двух щелочных металлов (суммарное содержание не ниже 10 мол. %) химическая устойчивость у стекол оказывается на 30 – 45 % выше, чем устойчивость стекол, содержащих эквивалентное количество одного из оксидов щелочных металлов. Аналогичное явление – «эффект нейтрализации», «эффект двух щелочей» – наблюдается при изучении влияния состава на электропроводность.

# УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕКОЛ

Устойчивость стекол к реагентам первой группы. Механизм действия этих реагентов на стекло заключается в том, что они вызывают удаление из поверхностного слоя щелочных компонентов путем гидролиза силикатов и последующего растворения гидроксидов. Схему гидролиза щелочных силикатов поверхностного слоя можно представить в виде. Растворимые гидроксиды щелочных металлов легко покидают места своего образования, диффундируя в раствор. Трудно растворимые гидроксиды остаются на поверхности стекла вместе с кремнеземистым остовом, состав которого соответствует составу конденсированных кремневых кислот. Образовавшийся поверхностный слой отличается от исходного повышенной концентрацией оксида кремния, пронизан ультратонкими порами, заполненными продуктами гидролиза. В работах И. В. Гребенщикова показано, что толщина и плотность кремнеземистого слоя («пленки») влияет на скорость диффузии молекул воды к неразрушенному слою стекла. Образование поверхностного кремнеземистого слоя толщиной более 50 нм резко замедляет процесс дальнейшего разрушения стекла. При действии на поверхность стекла растворов кислот (соляной, азотной, муравьиной) в основном протекают те же процессы. При разбавлении кислот гидролиз усиливается, возрастает количество вещества, переходящего в раствор. В результате образуются более крупнопористый и толстый (сотни нанометров) защитный кремнеземистый слой. Образование на поверхности стекла кремнеземистого слоя снижает химическую активность поверхности, ее электропроводность, коэффициент отражения, в то время как прозрачность стекла остается высокой.

# ТЕРМОСТОЙКОСТЬ

Нетермостойкие  
( до 100 °С)

Высоко-термостойкие  
( до 220 °С)

Термостойкие  
( до 160 °С)

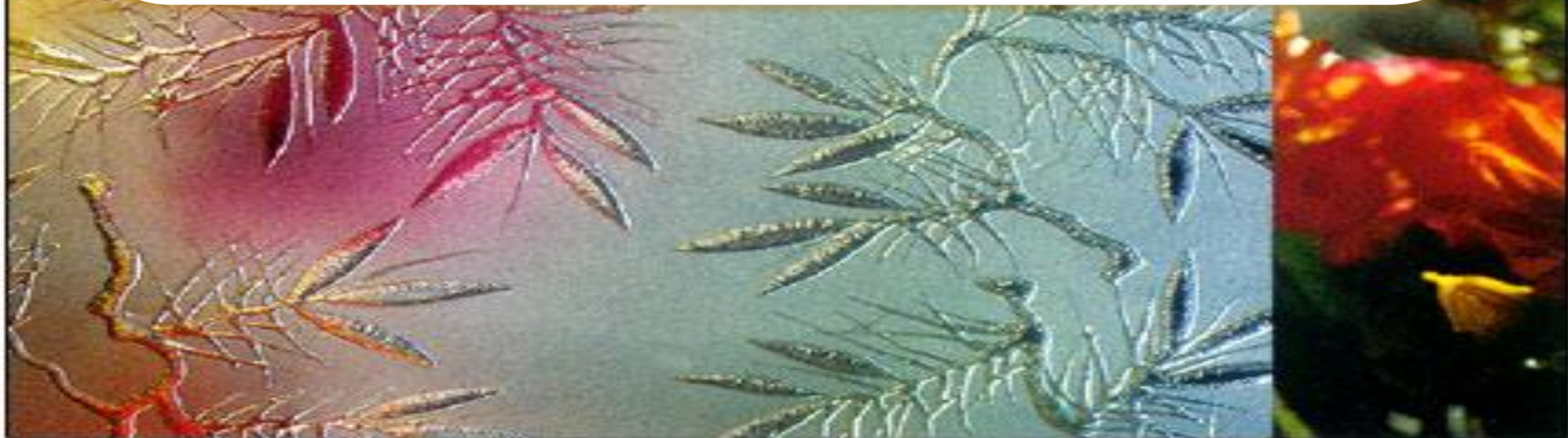


**Термостойкость** находится в сложной зависимости от свойств материала, поэтому невозможно проследить влияние одного или нескольких компонентов стекла на коэффициент термостойкости. Кварцевое стекло, мало-щелочные высокоглиноземистые боросиликатные стекла типа пирекс являются не только термостойкими, но и жаропрочными. Термостойкость изделия в большой степени зависит от его толщины. Ориентировочно эту зависимость можно представить в виде соотношения – толщина стенки изделия, т.е. термостойкость тонкостенных изделий при прочих равных условиях должна быть более высокой. По характеру действия на стекло реагенты можно разделить на две группы. К первой группе относятся вода, влажная атмосфера, растворы кислот (кроме фосфорной и плавиковой), нейтральные или кислые растворы солей, т. е. реагенты с рН, равным и ниже. Ко второй группе относятся реагенты с рН среды выше, т. е. растворы щелочей, карбонатов и т. п. компонентов. По механизму воздействия к этой группе относятся также фосфорная и плавиковая кислоты. Повышение температуры способствует ускорению разрушения стекла любым реагентом. С повышением температуры на каждые  $10^{\circ}\text{C}$  в области до  $100^{\circ}\text{C}$  скорость растворения растет в 1,5 – 2 раза. В автоклавах в условиях повышенных температур и давлений удастся полностью растворить большинство силикатных стекол. Перемешивание реагентов, движение жидкости также способствует более сильному разрушению стекла. Большое влияние на скорость химического разрушения стекол оказывает качество их отжига. Закаленные стекла в общем случае разрушаются в 1,2 – 2 раза быстрее, чем стекла хорошо отожженные.



# СЖАТИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Сжатию поверхностного слоя препятствуют внутренние слои стекла, температура которых продолжает значительно превышать. Внутренние слои, находясь по отношению к поверхностному слою в растянутом состоянии, вызывают возникновение растягивающих поверхностных напряжений. По сечению образца устанавливается некоторый градиент температур, и соответственно, градиент напряжений. Большое значение имеет не только само напряжение, но характер его распределения по объему изделия, продолжительность действия напряжений, однородность изделий, качество отжига. Если образец подвергается термоудару путем резкого нагревания, то схема возникновения напряжений будет подобна описанной, однако знаки напряжений будут обратными, т. е. в поверхностном слое будут возникать напряжения сжатия. Поскольку изделия из стекла обладают более высокой прочностью на сжатие, то термостойкость изделий из стекла к резкому нагреву оказывается более высокой, чем к резкому охлаждению.



Способность стекла выдерживать резкие перепады температур без разрушения используется в промышленной технологии закаленных стекол. Лист стекла помещают в горячую печь при  $700 - 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и после выдержки 1 мин подвергают резкому охлаждению в потоке воздуха. Термостойкость тем выше, чем выше предел прочности и коэффициент температуропроводности и чем ниже модуль упругости и коэффициент термического расширения, ниже модуль упругости, ниже коэффициент термического расширения, выше коэффициент температуропроводности. Высокая температуропроводность обеспечивает более быстрое выравнивание температуры по сечению образца. В ряду силикатных стекол наиболее высокой термостойкостью, порядка  $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , обладает кварцевое стекло, для которого характерно оптимальное сочетание параметров, определяющих коэффициент термостойкости, а именно: наиболее низкое в ряду силикатных стекол значение, наиболее высокий коэффициент температуропроводности.



# ПЕРИОД ЩЕЛОЧНОГО КОМПОНЕНТА

Природа щелочного компонента также влияет на свойства. Термическое расширение растет по мере увеличения ионного радиуса в ряду. Двухзарядные ионы щелочных металлов способствуют увеличению степени связности структурной сетки и обладают более высокой энергией связи  $Me - O$ , чем ионы щелочных металлов. По эффективности воздействия на  $\alpha$  в сторону его уменьшения щелочноземельные металлы располагаются в следующий ряд:  $Be - Mg - Ca - Ba$ , т. е. наиболее низкие значения  $\alpha$  удастся достичь при введении в состав стекла  $BeO$  и более высокие — при введении  $BaO$ . При введении в стекло многозарядных ионов типа уменьшается вязкость. Увязывание в прочные координационные полиэдры слабо поляризованных атомов кислорода способствует повышению связности смешанного элементокремнекислородного каркаса. Это находит свое отражение в характере изменения  $\alpha$ , химической устойчивости, вязкости и других свойств. Влияние многозарядных ионов на свойства бесщелочных стекол может быть прямо противоположным.



# СОСТАВ СТЕКЛА

- По назначению различают: строительное стекло (оконное, узорчатое, стеклянные блоки и т.д.), тарное стекло, стекло техническое (кварцевое стекло, светотехническое стекло, стеклянное волокно и т.д.), сортовое стекло и т.д. Вырабатываются С., защищающие от ионизирующих излучений, С. индикаторов проникающей радиации, фотохромные стекла с переменным светопропусканием, стекло, применяемое в качестве лазерных материалов, увиолевое стекло, пеностекло, растворимое стекло и др. Растворимое стекло, содержащее около 75%  $\text{SiO}_2$ , 24%  $\text{Na}_2\text{O}$  и др. компоненты, образует с водой клейкую жидкость (жидкое стекло); используется как уплотняющее средство, например для изготовления силикатных красок, конторского клея, в качестве диспергаторов и моющих средств, для пропитки тканей, бумаги и пр. Химический состав некоторых видов стекл приведён в таблице.



Таблица 6

## Химический состав стекол (по анализу)

Стекло	Содержание окислов, % по массе								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>
ВВС	71,65	1,85	—	0,11	6,87	3,98	15,26	—	0,28
2Н	72,00	1,85	—	0,20	6,80	4,15	14,30	0,45	0,25
6Н	70,82	4,98	—	0,67	5,90	2,61	13,69	1,09	0,24
12	71,1	6,40	1,94	0,07	3,76	3,71	11,22	1,78	0,30

Таблица 7

## Некоторые физико-химические свойства стекол, принятых для исследований

Свойство	Значения свойств стекол			
	ВВС	2Н	6Н	12
Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	2,478	2,477	2,475	2,431
Коэффициент термического расширения, °С <sup>-1</sup>	92,8 · 10 <sup>-7</sup>	92,8 · 10 <sup>-7</sup>	88,9 · 10 <sup>-7</sup>	79,0 · 10 <sup>-7</sup>
Микротвердость, кгс/мм <sup>2</sup>	575	575	591	—
Модуль Юнга E, кгс/см <sup>2</sup>	6500	6500	6100	—
Химическая устойчивость, потери в % по массе:				
в воде	0,15	0,09	0,10	0,07
в 20, 24% HCl	0,07	0,07	0,10	0,10
в 2н. NaOH	0,08	0,08	0,09	0,08
Температура начала деформации T <sub>н.д.</sub> , °С	565	540	575	585
Температура трансформации T <sub>g</sub> , °С	540	510	540	540
Логарифм вязкости, при °С:				
600	10,98	—	—	11,58
700	8,0	8,26	8,43	8,60
800	6,46	6,40	6,54	6,80
900	5,22	5,16	5,33	5,45
Поверхностное натяжение, дин/см, при °С:				
700	312	310	255	—
800	—	302	269	—
900	—	292	283	—
1000	—	285	291	—
1100	—	278	295	—

Примечание. Кристаллизация при температуре до 1000°С у всех стекол не обнаружена.

## СОСТАВ СТЕКЛА

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ											
Стекло	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	BaO	PbO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
Оконное	71,8	-	2	4,1	6,7	-	-	14,8	-	0,1	0,5

Главные составные материалы обычного стекла:

- оксид кремния (SiO<sub>2</sub>) / кварцевый песок
  - оксид натрия (Na<sub>2</sub>O) / сода
  - оксид кальция (CaO) / известь и доломит
  - оксид магния (MgO) / доломит
  - оксид алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / фельдшпат
  - оксид калия (K<sub>2</sub>O) / поташ (карбонат калия)
  - оксид железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / из кварцевого песка
  - триоксид серы (SO<sub>3</sub>)
- АНАЛИЗ СТЕКОЛЬНОГО СЫРЬЯ

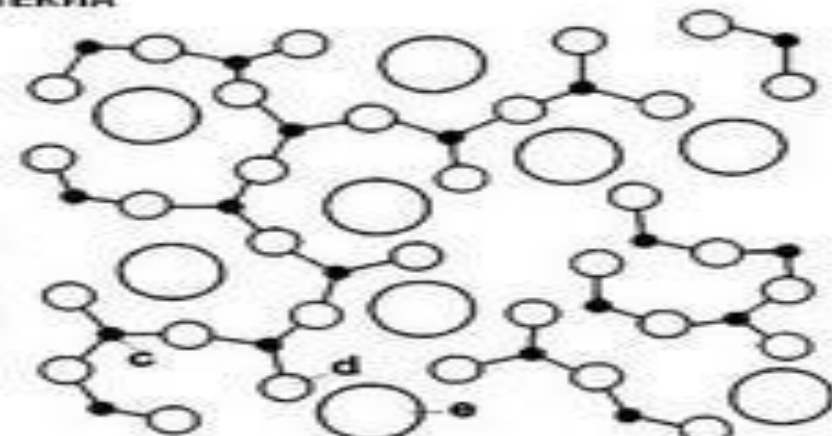
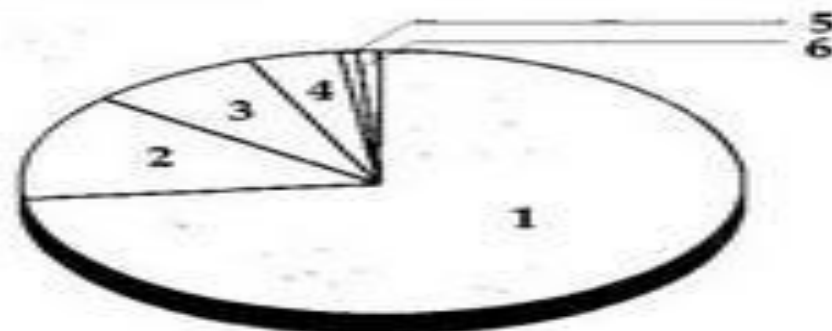
1. Оксид кремния 71-73%
2. Оксид натрия 13-16%
3. Оксид кальция 5-10%
4. Оксид магния 2-5%
5. Оксид алюминия ок. 1%
6. Другое ок. 1% / уголь

Главным стеклообразователем из всех сырьевых веществ является оксид кремния. Такие сырье, как оксид натрия и оксид калия (так называемые флюксирующие материалы) снижают температуру плавления, а оксиды калия, магния и алюминия (стабилизирующие вещества) повышают прочность стекла. Оксид железа - это, скорее всего, только примесь в сырьевом песке, которая окрашивает стекло.

Кроме необходимых, главных компонентов, используются разные добавки, с помощью которых стекло окрашивается желаемым образом или улучшаются другие качества стекла.

### ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СХЕМА СТЕКЛА

Состав обычного натрий-кальций-силикатного стекла (например, оконное стекло) соответствует принципу схемы Na<sub>2</sub>O · CaO · 6SiO<sub>2</sub>. На рисунке 1 видно расположение кремниевого оксида в случайном порядке, при котором, атомы кальция и натрия находятся отдельно в связующей конструкции, которую формируют атомы кислорода и кремния. Стекло - это аморфный материал, который не имеет кристаллической конструкции, свойственной жестким материалам. Но стекло не переохлажденная жидкость, как часто ошибочно утверждают.



# Ви ды

*Многослойное стекло*

*Оконное стекло*

*Солнцезащитное стекло*

*Теплосберегающее стекло*

*Узорчатое стекло*

*Закаленное стекло*

*Армированное стекло*

*Кварцевое стекло*

*Тонированное стекло*

# ОБРАБОТКА СТЕКЛА

Обработка стекла

Закалка стекла

Сверление

Ультрафиолетовая  
склейка

Обработка кромки

Матирование стекол и  
зеркал

Фацет



# ГОСТ НА СТЕКЛА И ИЗДЕЛИИ СОДЕРЖАЩИХ СТЕКЛО:

ГОСТ 10958-78 - Стекла защитные для приборов общепромышленного применения. Технические условия

ГОСТ Р 51136-98 - Стекла защитные многослойные. Общие технические условия

ГОСТ 13521-68 - Стекла оконные пассажирских вагонов, электропоездов и дизель-поездов. Основные размеры и технические требования

ГОСТ 6672-75 - Стекла покровные для микропрепаратов. Технические условия

ГОСТ 9284-75 - Стекла предметные для микропрепаратов. Технические условия

ГОСТ 2786-82 - Стекла пробные для проверки радиусов и формы сферических оптических поверхностей. Технические условия

ГОСТ 21836-88 - Стекла смотровые для промышленных установок. Технические условия

ГОСТ 7481-78 - Стекло армированное листовое. Технические условия

ГОСТ 5727-88 - Стекло безопасное для наземного транспорта. Общие технические условия

ГОСТ 30698-2000 - Стекло закаленное строительное. Технические условия

ГОСТ 16548-80 - Стекло кварцевое и изделия из него. Термины и определения

ГОСТ 15130-86 - Стекло кварцевое оптическое. Общие технические условия

ГОСТ 5533-86 - Стекло листовое узорчатое. Технические условия

ГОСТ 111-2001 - Стекло листовое. Технические условия

ГОСТ 111-90 - Стекло листовое. Технические условия

ГОСТ 30826-2001 - Стекло многослойное строительного назначения. Технические условия

ГОСТ 13078-81 - Стекло натриевое жидкое. Технические условия

ГОСТ 10134.2-82 - Стекло неорганическое и стеклокристаллические материалы. Метод определения кислотостойкости

ГОСТ 10134.3-82 - Стекло неорганическое и стеклокристаллические материалы. Метод определения щелочестойкости

ГОСТ 10134.1-82 - Стекло неорганическое и стеклокристаллические материалы. Методы определения водостойкости при 98 град. С

ГОСТ 10134.0-82 - Стекло неорганическое и стеклокристаллические материалы. Общие требования к методам определения химической стойкости

ГОСТ 3518-80 - Стекло оптическое бесцветное. Метод определения оптической однородности на коллиматорной установке

ГОСТ 3514-94 - Стекло оптическое бесцветное. Технические условия

ГОСТ 13659-78 - Стекло оптическое бесцветное. Физико-химические характеристики. Основные параметры

ГОСТ 9411-91 - Стекло оптическое цветное. Технические условия

ГОСТ 3521-81 - Стекло оптическое. Метод определения бесцветности

ГОСТ 10667-90 - Стекло органическое листовое. Технические условия

ГОСТ 17622-72 - Стекло органическое техническое. Технические условия

ГОСТ 30733-2000 - Стекло с низкоэмиссионным твердым покрытием.

Технические условия

ГОСТ 9553-74 - Стекло силикатное и стеклокристаллические материалы.

Метод определения плотности

ГОСТ 21992-83 - Стекло строительное профильное. Технические условия

ГОСТ 1224-71 - Стекло термометрическое. Марки

ГОСТ 21400-75 - Стекло химико-лабораторное. Технические требования.

Методы испытаний

ГОСТ 26302-93 - Стекло. Методы определения коэффициентов направленного пропускания и отражения света

ГОСТ 30053-93 - Стекловолокно. Маты. Метод определения массы на единицу площади

- ГОСТ 8325-93 - Стекловолокно. Нити крученые комплексные. Технические условия
- ГОСТ 17139-2000 - Стекловолокно. Ровинги. Технические условия
- ГОСТ Р 50049-92 - Стекловолокно. Термины и определения
- ГОСТ 19170-2001 - Стекловолокно. Ткань конструкционного назначения. Технические условия
- ГОСТ 6799-2005 - Стеклоизделия для мебели. Технические условия
- ГОСТ 8727-78 - Стекломиканит гибкий. Технические условия
- ГОСТ 24866-99 - Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия
- ГОСТ 24866-89 - Стеклопакеты клееные. Технические условия
- ГОСТ 30779-2001 - Стеклопакеты строительного назначения. Метод определения сопротивления атмосферным воздействиям и оценки долговечности
- ГОСТ 27380-87 - Стеклопластики профильные электроизоляционные. Общие технические условия
- ГОСТ 10111-85 - Стеклорезы алмазные. Технические условия
- ГОСТ 15879-70 - Стеклорубероид. Технические условия
- ГОСТ 10292-74 - Стеклотекстолит конструкционный. Технические условия
- ГОСТ 12652-74 - Стеклотекстолит электротехнический листовой. Технические условия