

# Оптические свойства веществ

1. Состав халькогенидные стекло
2. Специальные оксидные стекло
3. Германатные стекло

# Халькогенидное стекло

- **Халькогенидное стекло** — некристаллическое вещество, содержащее атомы халькогенов (серы, селена, теллура) без кислорода, в основном нечувствительно к примесям, обладает симметричными вольт-амперными характеристиками<sup>[1]</sup>.
- Халькогенидные стёкла, содержащие значительное количество щелочного металла или серебра, обладают ионной проводимостью, значительно превышающей электронную проводимость. Такие стёкла применяются в качестве твёрдых электролитов для электрохимических ячеек. Стёкла отличаются высокой термодинамической и электрохимической стабильностью<sup>[2]</sup>.
- Наиболее стабильные бинарные халькогенидные стёкла — соединения халькогена и одного или несколько элементов 14-й или 15-й групп периодической системы. Известны также тернарные стёкла<sup>[3]</sup>.
- Халькогенидные стекла обладают свойствами полупроводников.
- Основное использование халькогенидных стёкол обусловлено их уникальными оптическими и электрофизическими свойствами. Прозрачность этих стёкол в широком спектре электромагнитного излучения от видимого до дальнего инфракрасного диапазона находит применение для разработки и производства инфракрасных детекторов излучения, инфракрасной оптики<sup>[7]</sup> и инфракрасного оптического волокна.

Халькогенидные соединения, такие как AgInSbTe и GeSbTe, используются в перезаписываемых оптических дисках и устройствах памяти с фазовым переходом. Это хрупкие стеклообразователи: контролируя нагрев и отжиг (охлаждение), они могут переключаться между аморфным (стеклообразным) и кристаллическим состоянием, тем самым изменяя их оптические и электрические свойства и позволяя хранить информацию.

- **Халькогенидное стекло** ( в химии произносится как hard ch ) - это стекло, содержащее один или несколько халькогенов ( сера, селен и теллур, но исключая кислород ). Такие стекла представляют собой ковалентно связанные материалы и могут быть классифицированы как твердые тела с ковалентной сеткой. Полоний также является халькогеном, но не используется из-за его высокой радиоактивности. Халькогенидные материалы ведут себя несколько иначе, чем оксиды, в частности, их нижняя запрещенная зона вносят свой вклад в очень разные оптические и электрические свойства.
- Классические халькогенидные стекла (в основном на основе серы, такие как As-S или Ge-S) являются сильными стеклообразователями и обладают стеклами в больших областях концентрации. Стеклообразующие способности снижаются с увеличением молярной массы составляющих элементов; т.е. S > Se > Te.

# Халькогенидное стекло



- Для работы с необычным материалом, который используется в оптике, подошел обычный трехмерный принтер со слегка доработанной конструкции. И теперь открывается дорога к созданию дешевых датчиков и биомедицинских устройств.
- Команда исследователей из Канады впервые успешно напечатала халькогенидное стекло — уникальный материал, который используется для изготовления оптических компонентов. Применение 3D-печати поможет создавать недорогие датчики, электронику и биомедицинские устройства.
- Как сообщает Science Daily, участники команды модифицировали стандартный трехмерный принтер для работы со стеклом. Халькогенидное стекло плавится при относительно низких температурах, поэтому максимальный нагрев устройства увеличили незначительно, с  $260^{\circ}\text{C}$  до  $330^{\circ}\text{C}$ .

# Халькогенидное стекло впервые применили для 3D печати компонентов

- Используя технологию 3D печати, инженерам впервые удалось применить в качестве печатного сырья халькогенидное стекло. Этот уникальный материал демонстрирует успешное применение под изготовление компонентов оптики. Разработанная методика 3D-печати халькогенидным стеклом обещает производство сложных стеклянных компонентов, в том числе оптические волокна, пригодные для сооружения недорогих датчиков. Также допустимо изготовление широкого ассортимента компонентов телекоммуникаций и биомедицинских приборов.



# Халькогенидное стекло распечатано на 3D-принтере

Принтеры для трёхмерной печати стали обыденностью в сфере строительства. Никого уже не удивляет выражение «напечатать дом». Недавно канадские инженеры совершили ещё одну революцию в аддитивных технологиях, распечатав стекло. Ранее напечатать стекло на 3D-принтерах было невозможно.

Канадцам удалось создать уникальное халькогенидное стекло, используя для этого стандартное устройство для трёхмерной печати со слегка изменённой конструкцией. Этот материал применяется во многих сферах, в том числе в производстве оптических компонентов в специализированных приборах. Температура плавления халькогенидного стекла не слишком высока. Этим воспользовались канадские учёные, увеличив максимальный нагрев печатающего устройства с  $+260^{\circ}\text{C}$  до  $+330^{\circ}\text{C}$ .

3D-принтер печатает стекло точно также, как и пластик. Он накладывает слой за слоем нити, мгновенно твердеющие на воздухе. Таким образом можно изготовить стеклянные детали даже сложной формы. Устройство печатает и предметы, которые состоят из нескольких различных материалов.



# Линзы для тепловизоров из халькогенидного стекла будут существенно дешевле

Исследователи из Института механики материалов общества Фраунгофера (ФРГ) работают над **новыми инфракрасными линзами из халькогенидного стекла**, которое можно будет формовать как обычное стекло, избегая дорогостоящей механической обработки.



Сегодня линзы в тепловизорах делаются из кристаллического германия, селенида цинка или сульфида цинка. Эти материалы не только дороги, они ещё и обрабатываются лишь механически (включая перемалывание, полировку, алмазное точение и иные этапы). Оттого тепловизоры не по карману большинству потребителей. Зачем они им (нам)?

Кстати, знаете ли вы, что уже сейчас существуют тепловизоры для автомобилей, способные разглядеть велосипедиста, кабана или оленя в дождь и в непроглядной тьме? Причём ставятся они не только прямо спереди, но и по бокам, когда фары не могут помочь. **Одна беда: стоят такие приборы (для автомобиля) от 2 000 евро.**

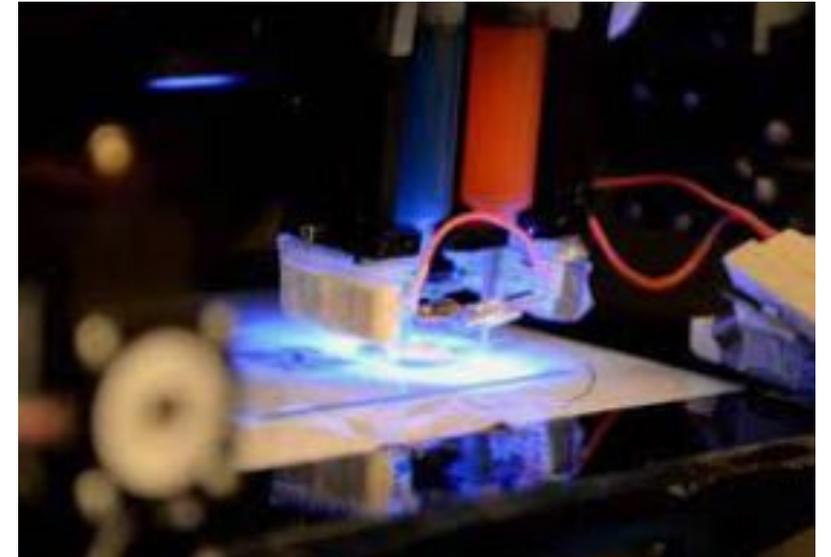
**Халькогенидное стекло** — материал аморфный и может обрабатываться подобно любому другому стеклу, то есть *пластической деформацией при несколько повышенной температуре*, обычно не превышающей сотен градусов. **Альтернативным способом является неизотермная горячая штамповка**, занимающая буквально несколько минут.

Механическая обработка при этом не нужна, а стоимость конечного продукта, как известно каждому, невелика — ведь именно халькогенидное стекло составляет основу DVD-диска. Что особенно важно, качество полученных линз (повторимся, не требующих последующей обработки) оказалось ровно таким же, как у лучших нынешних образцов.

# Впервые напечатано халькогенидное стекло для инфракрасной оптики

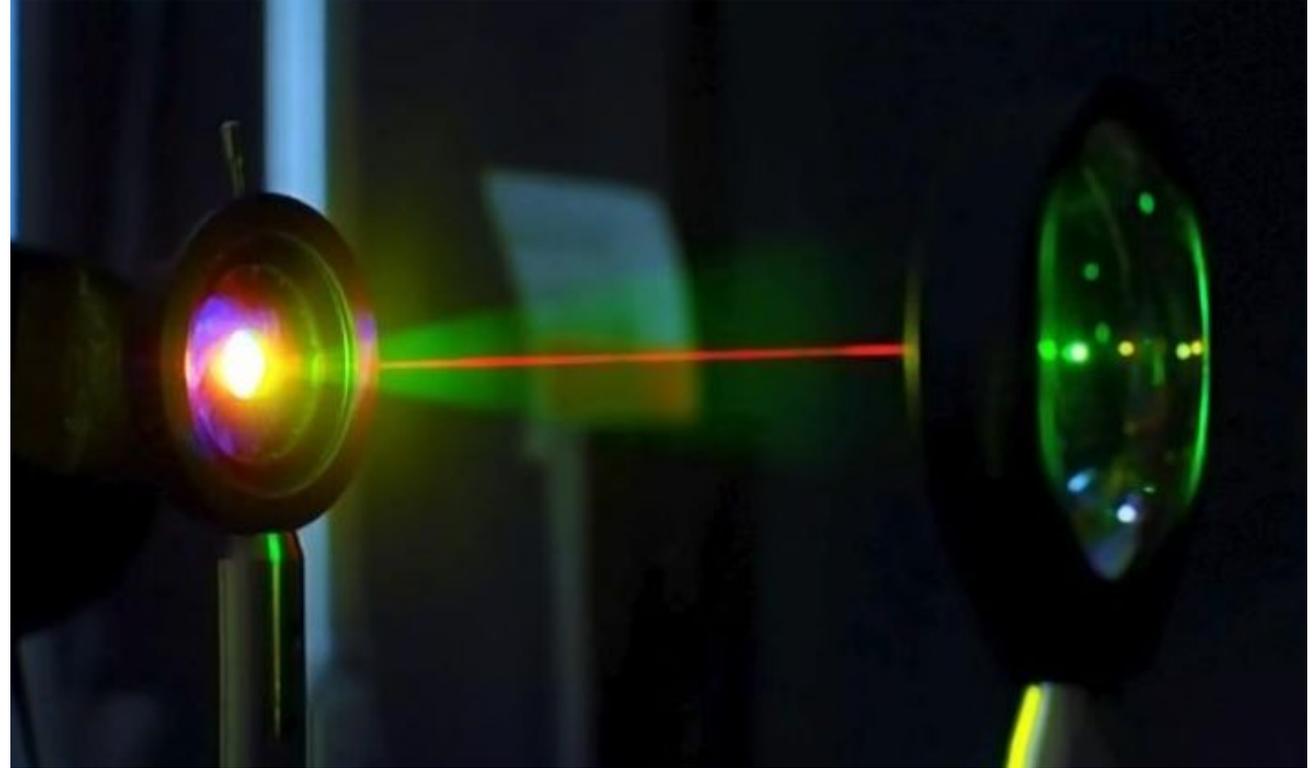
Халькогенидным стеклом называют материал, который содержит атомы элементов 16-й группы (по старой классификации – VI группы) таблицы Менделеева. Такими элементами являются, например, сера, селен, теллур.

Канадские учёные отмечают, что с помощью 3D-печати получили возможность создания халькогенидной оптики с различными структурами, а соответственно, и свойствами. На 3D-принтере в университете Лавалья планируется создание халькогенидных стёкол, которые можно будет использовать в специализированном оптоволокне, повышающем надёжность коммуникационных устройств.



# НОВЫЙ «СТЕКЛЯННЫЙ» ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ ПОМОЖЕТ СОЗДАВАТЬ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ ЛАЗЕРЫ

- Российские физики совместно с немецкими коллегами создали лазер, который работает в среднем инфракрасном диапазоне и, в отличие от аналогов, не требует дополнительного охлаждения. Этого удалось добиться за счет использования халькогенидного стекла с редкоземельными ионами церия. Разработка найдет применение в хирургических процедурах, молекулярной спектроскопии, а также сделает более эффективной обработку пластиковых материалов.



- Лазеры, работающие в среднем инфракрасном диапазоне, находят применение в самых различных областях: мониторинг газов в окружающей среде и анализ дыхания, минимально повреждающая хирургия и обработка неметаллических материалов. Несмотря на то что современные лазерные системы успешно решают некоторые из этих задач, изготавливать их по-прежнему дорого и сложно. Именно поэтому большой интерес вызывают твердотельные лазеры в среднем инфракрасном диапазоне. Они отличаются высокой эффективностью и малыми габаритами.
- Важная составляющая лазера — активная среда, которая усиливает проходящее через нее излучение. В твердотельных лазерах среднего инфракрасного диапазона ее роль играют либо кристаллы, либо различные стекла. Например, наилучшие характеристики подобного устройства может обеспечить кристаллический селенид цинка  $ZnSe$  с ионами железа, однако у этого материала есть явный недостаток — быстрое затухание люминесценции при комнатной температуре, то есть свечение быстро сходит на нет.
- Чтобы улучшить этот показатель, авторы работы решили сконцентрировать внимание на создании лазеров на ионах церия, а вместо кристалла использовать стеклянную основу, которая позволяет изготовить стекловолокно с геометрией, обеспечивающей лучшие лазерные характеристики. Ранее ученые из Института общей физики имени А.М. Прохорова РАН (Москва) и Института химии высокочистых веществ имени Г.Г. Девятовых РАН (Нижний Новгород) разработали совершенно новое халькогенидное стекло, лишенное недостатка кристаллического активного элемента на основе  $ZnSe$ . Оно может стать достойной альтернативой этому популярному материалу.

# Приложения

CD-RW (компакт - диск). Аморфные халькогениды составляют основу технологии твердотельной памяти перезаписываемых CD и DVD. [2] Области применения включают инфракрасные детекторы, формуемую инфракрасную оптику, такую как линзы, и инфракрасные оптические волокна, с главным преимуществом, что эти материалы передают в широком диапазоне инфракрасного электромагнитного спектра. Физические свойства халькогенидных стекол (высокий показатель преломления, низкая энергия фононов, высокая нелинейность) также делают их идеальными для встраивания в лазеры, планарную оптику, фотонные интегральные схемы и другие активные устройства, особенно если они легированы ионами редкоземельных элементов.



CD-RW (компакт - диск). Аморфные халькогениды составляют основу технологии твердотельной памяти перезаписываемых CD и DVD. [2]

# Состав халькогенидные стекло

Халькогенидные стекла образуются на основе элементов VI группы (сера S, селен Se, теллур Te), которые называются халькогенидами и представляют собой сплавы с элементами V (мышьяк As, сурьма Sb) или IV (кремний Si, германий Ge) групп.

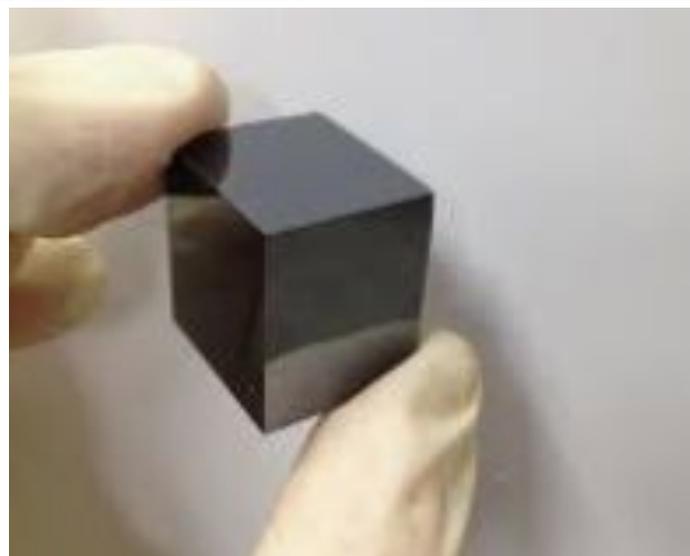
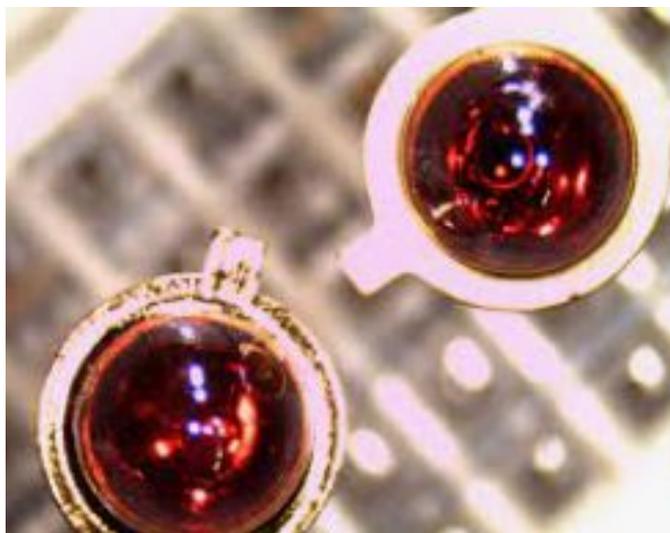
Халькогенидные стекла обладают высокой прозрачностью в ИК-области спектра от 1 до 18 мкм.

Халькогенидные стекла обладают полупроводниковой проводимостью электронного типа, обнаруживают внутренний фотоэффект.

Халькогенидные стекла очень перспективны в качестве прозрачного материала для оптоволоконных кабелей инфракрасного диапазона спектра с низкими оптическими потерями.

Стекла применяются в высокочувствительных телевизионных камерах, в ЭВМ в качестве переключателей или элементов запоминающих устройств.

Примерный состав промышленных халькогенидных стекол (в % по массе): Te 85–87, Se 9–11, As 1,0–1,6, Sb 2–3, S 0,5–1,0.



## Примерные составы халькогенидных стекол

Система	Пример состава стекла (ат. %)	Назначение
As-S	As 40, S 60	Для области спектра 9–11 мкм
Ge-S	Ge 20, S 80	
Ge-As-S	Ge 25, As 15, S 60	
As-Se	As 40, Se 60	
Ge-Se	Ge 20, Se 80	
Ge-As-Se	Ge 33, As 12, Se 55	
Ge-Sb-Se	Ge 28, Sb 12, Se 60	Для области спектра 14–18 мкм
Ge-As-Te	Ge 10, As 20, Te 70	
Ge-Se-Te	Ge 22, Se 20, Te 58	
Ge-As-Se-Te	Ge 30, As 13, Se 27, Te 30	

Свойства некоторых халькогенидных стекол

№ п/п	Состав стекла	Область пропускания, мкм	Показатель преломления (при $\lambda = 5$ мкм)	Температура размягчения, °С	Термический коэффициент расширения, $10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
1	$\text{As}_{40}\text{S}_{60}$	1,0–11,0	2,41	210	250
2	$\text{Ge}_{40}\text{S}_{60}$	0,9–12,0	2,30	420	140
3	$\text{Ge}_{30}\text{P}_{10}\text{S}_{60}$	2,0–8,0	2,15	520	150
4	$\text{As}_8\text{Se}_{92}$	1,0–19,0	2,48	70	340
5	$\text{As}_{50}\text{S}_{20}\text{Se}_{30}$	1,0–13,0	2,53	218	200
6	$\text{Ge}_{28}\text{Sb}_{12}\text{Se}_{60}$	1,0–15,0	2,62	326	150
7	$\text{Ge}_{10}\text{As}_{20}\text{Te}_{70}$	2,0–20,0	3,55	178	180
8	$\text{Si}_{15}\text{Ge}_{10}\text{As}_{25}\text{Te}_{50}$	2,0–12,5	3,06	320	100
9	$\text{As}_{35}\text{S}_{10}\text{Se}_{35}\text{Te}_{20}$	1,0–12,0	2,70	176	250

# Специальные оксидные стекла

Оксидные стекла представляют собой обширный класс соединений. Наиболее легко образуют стекла оксиды:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Большая группа оксидов —  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SeO}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  — образует стекла при сплавлении с другими оксидами или смесями оксидов.

В зависимости от основных стеклообразующих компонентов различают оксидные стекла:

Промышленные составы стекол содержат, как правило, не менее 5 компонентов, а специальные и оптические стекла могут содержать более 10 компонентов.

Многокомпонентные оксидные стекла. Основу промышленных стекол — оконного, архитектурно-строительного, сортового, автомобильного, тарного и других — составляют композицию тройной системы  $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})\text{—CaO—SiO}_2$  при массовых содержаниях:  $\text{SiO}_2$  — 60-80,  $\text{CaO}$  = 0...10,  $\text{O}^-\text{—Ю}^{\cdot\cdot}$ .

Промышленные составы силикатных стекол содержат  $\text{MgO}$ , который способствует снижению склонности к кристаллизации, и оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повышающий химическую стойкость стекол, сортовые стекла содержат  $\text{PbO}$ ,  $\text{ZnO}$ .

силикатные	$\text{SiO}_2$
алюмосиликатные	$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$
боросиликатные	$\text{B}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$
бороалюмосиликатные	$\text{B}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$
алюмофосфатные	$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{P}_2\text{O}_5$
бороалюмофосфатные	$\text{B}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{P}_2\text{O}_5$
алюмосиликофосфатные	$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{P}_2\text{O}_5$
фосфорванадатные	$\text{P}_2\text{O}_5, \text{V}_2\text{O}_5$
Силикотитанные	$\text{TiO}_2, \text{SiO}_2$
силикоцирконатные	$\text{SiO}_2, \text{ZrO}_2$

## КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕКОЛ

### по химическому составу

**Элементарные стекла.** Это материалы, образованные одним элементом, таким, как Si, Ge, B, P, Se.

**Оксидные стекла.** Их основа оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и др.

**Халькогенидные стекла.** Образованы сульфидами, селенидами и теллуридами элементов, например  $\text{GeS}_2$ ,  $\text{P}_4\text{Se}_4$ ,  $\text{As}_2\text{Te}$ .

**Металлические стекла.** Различают металлические стекла типа металл-металл ( $\text{Cu}_{50}\text{Zr}_{50}$ ,  $\text{Ni}_{60}\text{Nb}_{40}$ ) и типа металл-металлоид ( $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$ ,  $\text{Pd}_{80}\text{Si}_{20}$ ).

**Галогенидные стекла.** Получают на основе стеклообразующего компонента  $\text{BeF}_2$ . Многокомпонентные составы фторбериллатных стекол содержат также фториды алюминия, кальция, магния, стронция, бария.

**Полимерные стекла.** Образуются полимерами с нерегулярными последовательностями мономеров, а также разветвленными полимерами.

### по типу связи:

- ковалентные (оксиды, элементы, органические полимеры)
- ионные (галогениды, нитраты)
- с водородной связью (водные растворы солей)
- молекулярная связь (органические жидкости)
- металлическая связь (сплавы)

# Оксидные стекла.

- При определении класса учитывается природа стеклообразующего оксида, входящего в состав стекла оксид бора, оксид кремния, оксид фосфора. Многие оксиды переходят в состояние стекла лишь в условиях скоростного охлаждения оксид мышьяка, оксид сурьмы, оксид ванадия, либо сами по себе не стеклуются оксид алюминия, оксид вольфрама, однако в комбинациях стеклообразующие свойства резко усиливаются.

**Оксиды щелочных металлов** ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ ) играют роль плавней. Их вводят в состав стекла для снижения температуры варки стекла. В обычных стеклах концентрация щелочных оксидов не превышает 14 — 15 %\*.

Влияние на свойства: понижают температуру плавления и вязкость ( $\text{Li}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ), уменьшают склонность к кристаллизации (кроме  $\text{Li}_2\text{O}$ ), повышают плотность и ТКЛР ( $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > \text{Li}_2\text{O}$ ), показатель преломления уменьшается, химическая устойчивость уменьшается, понижается электросопротивление, возрастает диэлектрическая проницаемость, уменьшается микротвердость ( $\text{Li}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ).

**Оксид кальция** вводится в составы обычных стекол в количестве до 9 — 10 %; специальные стекла, например шлаковые, содержат до 25 % и более.

Влияние на свойства стекла: понижает температуру плавления и вязкость, улучшает механические и химические свойства, усиливает склонность к кристаллизации, увеличивает показатель преломления, повышает плотность и тепловое расширение.

**Оксид магния** вводится в составы обычных стекол в количестве до 5 %.

Влияние на свойства стекла: понижает температуру плавления и склонность к кристаллизации (при концентрации до 6 % с увеличением концентрации температура плавления и склонность к кристаллизации повышаются), повышает поверхностное натяжение. При содержании в стекле более 2 % оксида магния время провара и осветления увеличивается. Несколько снижает устойчивость стекла к действию воды. Повышает коэффициент линейного расширения, но меньше, чем оксид кальция.



**Оксид бария** вводится в состав стекол до 45 % (баритовый крон), но обычно 2 — 10 %.

Влияние на свойства стекла: понижает температуру плавления и вязкость, увеличивает плотность, показатель преломления и коэффициент линейного расширения; ухудшает механические и химические свойства и повышает агрессивность расплава.

**Оксид цинка** применяется в производстве термометрических, химико-лабораторных и оптических стекол. Концентрация оксида цинка в стеклах разных типов находится в пределах 2 — 12 %.

Влияние на свойства: уменьшает коэффициент линейного расширения, температуру плавления и вязкость, увеличивает склонность к кристаллизации, агрессивность расплава, повышает химическую стойкость.

**Оксид свинца** применяется в производстве оптических стекол (в концентрации 2 — 65 %), поглощающих ионизирующее излучение (2 — 86 %), хрусталя (17 — 34 %), легкоплавких глазурей и эмалей.

Влияние на свойства стекла: понижает температуру плавления, вязкость и химическую стойкость, ухудшает механические свойства, уменьшает склонность к кристаллизации, повышает показатель преломления и агрессивность расплава.

**Оксид алюминия** применяется в производстве тарных (3—12 %), химико-лабораторных и электротехнических (2 — 25 %), термометрических, оконных и других стекол.

# Виды стекла

- Силикатные стекла
- Боратные стекла
- Германиновые стекла
- Фосфатные стекла
- Галогенидные стекла
- Фторобериллатные стекла
- Фтороцирконатные стекла
- Халькогенидные стекла

# Германатные стекло

- Германатные стекла являются ближайшими аналогами силикатных стекол. Существуют две кристаллические формы  $\text{GeO}_2$ , одна из которых имеет тетрагональную структуру (температура плавления  $1185^\circ\text{C}$ ), другая изоструктурная и плавится при  $1115^\circ\text{C}$ .
- Германатные стекла по своим свойствам схожи с соответствующими силикатными стеклами.
- Высокая стоимость и низкая химическая стойкость германатных стекол сильно ограничивают их применение в технике. Тем не менее в ряде случаев германатные стекла вследствие высокого преломления, а также светопропускания в области  $5 - 5,5$  мкм применяют в производстве оптических приборов.

Германаты — соли германиевых кислот —  $\text{H}_2\text{GeO}_3$ ,  $\text{H}_4\text{GeO}_4$  и других, невыделенных в свободном состоянии, напр., германат натрия  $\text{Na}_2\text{GeO}_3$ . Германаты — компоненты люминофоров, материалы в акусто- и оптоэлектронных приборах. используются для получения германиевых стекол.

## Германатные стекла

Двуокись германия  $\text{GeO}_2$  является аналогом  $\text{SiO}_2$ , а потому германатные стекла являются ближайшими аналогами силикатных стекол.

Оксид  $\text{GeO}_2$  имеет две кристаллические формы

```
graph TD; A[Оксид GeO2 имеет две кристаллические формы] --> B[Тетрагональная структура рутила с шестерной координацией атома германия по кислороду (устойчива ниже 1033 °C)]; A --> C[Изоструктурная α-кварцу с четверной координацией атома германия по кислороду (устойчива выше 1033 °C)];
```

Тетрагональная структура рутила с шестерной координацией атома германия по кислороду (устойчива ниже  $1033\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Изоструктурная  $\alpha$ -кварцу с четверной координацией атома германия по кислороду (устойчива выше  $1033\text{ }^\circ\text{C}$ ).

- Германатные стекла — ближайшие аналоги силикатных стекол. Германатные системы, как и силикатные, отличаются сильно-выраженной способностью к переходу в стеклообразное состояние, хотя по аналогии в них наблюдаются также и явления ликвации. Температуры плавления кристаллических форм  $\text{SeO}_2$  сравнительно невысоки ( $1115^\circ$  — кварцеподобная форма и  $1185^\circ$  — рутилоподобная форма). Германатные стекла в сравнении с силикатными легче плавятся, но они химически гораздо менее стойки. Вследствие низкой химической устойчивости и дефицитности компонента  $\text{SeO}_2$  германатные стекла не имеют практического значения и представляют, в основном, лишь теоретический интерес. Однако следует отметить повышенную устойчивость германатных стекол к интенсивным ионизирующим излучениям [27], их способность поглощать рентгеновские лучи (табл. 6) и пропускать инфракрасные лучи.
- Специальные свинцово-германатные стекла хорошо пропускают инфракрасные лучи в области  $2\text{—}6$  мк.

Критерием ковалентности химических связей между атомами может служить, как известно, разность электроотрицательностей элементов. Концепция электроотрицательностей, основоположником которой является Полинг [54], нашла широкое распространение в современной химии [55]. Известны приложения этой концепции и к химии стекла [56]. Показателен тот факт, что электроотрицательности элементов, входящих в состав окислов стеклообразователей, стабилизаторов (интермедиатов) и модификаторов (см. главу XI), закономерно изменяются и лежат в пределах соответственно  $1,8\text{—}2,1$   $1,5\text{—}1,7$   $0,2\text{—}0,7$ . Вместе с тем нельзя не признать малую точность числовых характеристик электроотрицательностей. Например, кремнию и германию приписываются одинаковые значения электроотрицательностей (1,8), в то время как свойства- силикатных и германатных стекол резко различаются.

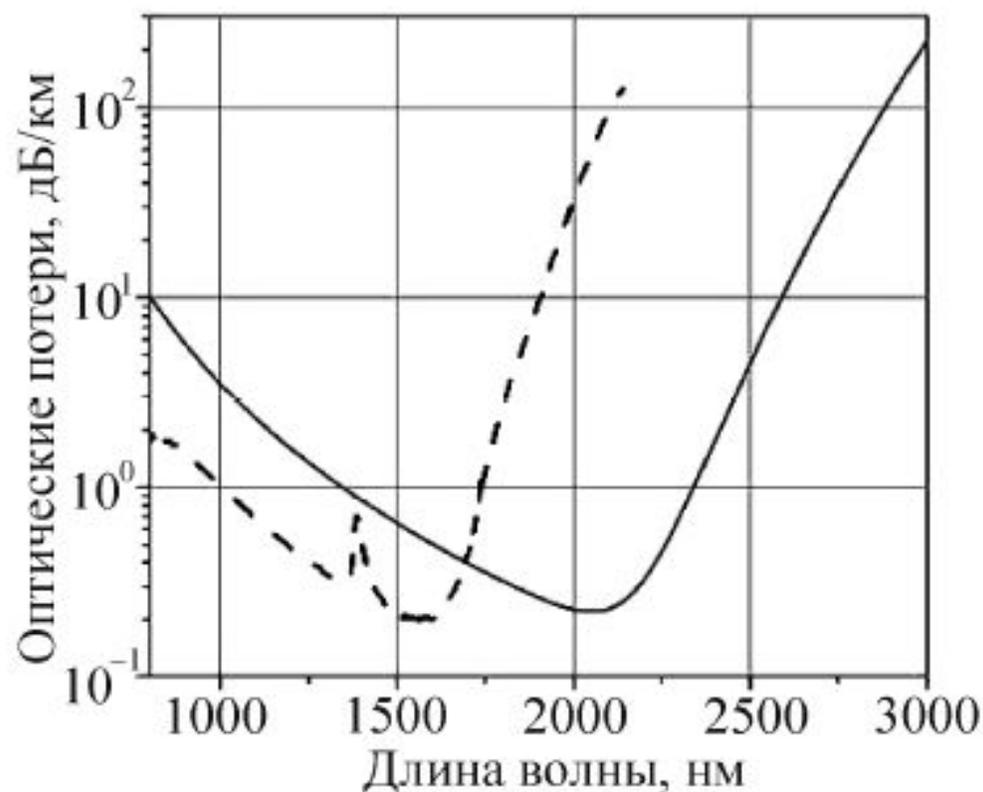
# ДВУОКИСЬ ГЕРМАНИЯ И ГЕРМАНАТНЫЕ СТЕКЛА

Хотя уже давно известно, что  $\text{OeOg}$  является стеклообразователем, систематическое изучение германатных стекол началось лишь недавно. Поскольку многие кристаллические германаты изоструктурны соответствующим силикатам, в ранних работах часто предполагалось, что структурное подобие должно иметь место также и в стеклах и что свойства силикатных и германатных стекол должны изменяться в зависимости от изменений состава и температуры одинаково [1]. Так как температуры плавления германатов ниже, чем у силикатов, то предполагалось возможным использовать это подобие для создания моделей и получения с их помощью сведений о соответствующих силикатных стеклах, в частности о стеклах с малым содержанием модификатора, которые трудно приготовить из-за высокой температуры ликвидуса. Последними работами, однако, показано, что германатные стекла обладают специфическими особенностями, обусловленными структурными изменениями, не имеющими места в силикатных стеклах.

## Германатные волоконные световоды

Сердцевина германатных волоконных световодов преимущественно состоит из германатного стекла (более 50 мол. %  $\text{GeO}_2$ ), а оболочка – из кварцевого стекла ( $\text{SiO}_2$ ).

По сравнению с кварцевым стеклом спектральная область максимальной прозрачности  $\text{GeO}_2$  сдвинута в сторону больших длин волн, а коэффициент вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) света в 9 раз больше, чем в  $\text{SiO}_2$ .



Большая разность показателей преломления между сердцевиной и оболочкой обеспечивает высокую интенсивность излучения в сердцевине.

Кварцевая оболочка обеспечивает высокую механическую прочность световодов, хорошую защищенность сердцевины от воздействия окружающей среды и полную совместимость со световодами на основе кварцевого стекла.

Оксид германия может вводиться как компонент в небольших количествах в состав силикатных, боратных, фосфатных и других стекол, поскольку он увеличивает показатель преломления и не вызывает повышения кристаллизационной способности.

Высокая стоимость и низкая химическая стойкость германатных стекол сильно ограничивают их применение в технике.