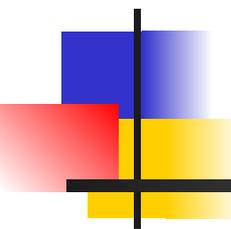
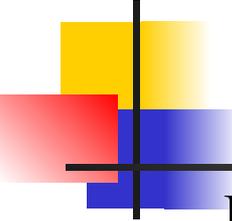


# Конструкционные материалы. Неметаллические материалы



---

1. Полимеры
2. Бумага
3. Стекла. Ситаллы
4. Керамика
5. Слюдяные материалы



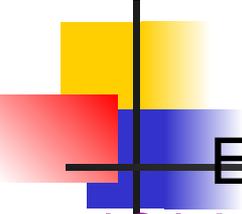
## 1. Полимеры.

---

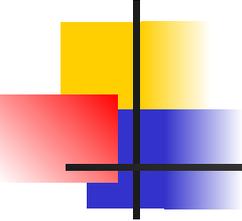
Полимеры -хорошие диэлектрики. Они обладают: низкими диэлектрическими потерями, высоким удельным сопротивлением, высокой электрической прочностью, высокой технологичностью и, как правило, невысокой ценой. Кроме того, на основе полимеров с дисперсными добавками можно получать разнообразные композиционные материалы с широким спектром свойств.

По технологическим признакам полимерные материалы делятся на 2 класса - *термопласты и реактопласты* .

*Термопласты* - размягчаются при нагревании, при этом гранулы исходного полимера помещают в камеру термопласт - автомата, нагревают до температуры размягчения, прессуют и охлаждают. Так делают мелкие диэлектрические детали. Для крупногабаритных изделий, типа кабелей, вместе с внутренним электродом кабеля. Наиболее распространенным диэлектриком этого класса является *полиэтилен*  
$$\text{H}-(\text{CH}_2)_n\text{H}$$

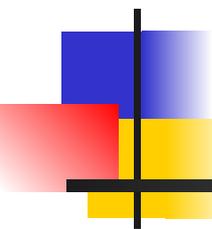


Его основные параметры: удельное сопротивление  $10^{14}-10^{15}$  Ом·м, удельное поверхностное сопротивление  $10^{15}$  Ом, диэлектрическая проницаемость  $2.2-2.4$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $10^{-4}$ , электрическая прочность  $45-55$  кВ/мм, теплопроводность  $0.3-0.4$  Вт/(м·К), теплоемкость  $2$  кДж/(кг·К), плотность  $920-960$  кг/м<sup>3</sup>. Класс нагревостойкости Y. Полиэтилен широко используют в качестве силовой электрической изоляции в кабелях, в особенности т.н. "сшитый" полиэтилен. (В зарубежной литературе - cross-linked polyethylene).



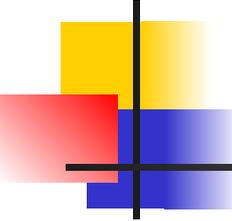
*Реактопласты* - при нагревании не размягчаются, после достижения некоторой температуры начинают разрушаться. Изделия из них обычно делают прессованием нагретых порошков, либо полимеризацией непосредственно в изделии.

Достаточно дешевы и технологичны реактопласты на основе фенолформальдегидных полимеров (бакелит) и аминокформальдегидных полимеров. Их электрофизические характеристики невысоки.



*Эпоксидные полимеры* обладают хорошей механической прочностью, удовлетворительными электрофизическими характеристиками. Они являются полярными диэлектриками. Высокая полярность приводит к слабой водостойкости. Главное преимущество эпоксидных компаундов - простота технологии приготовления.

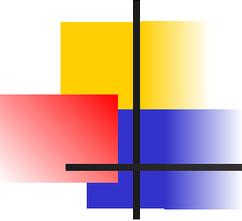
Из других полимеров-реактопластов отметим диэлектрический материал с высокой механической прочностью - *капролон*, с большим диапазоном рабочих температур ( $-100^{\circ}\text{C}$  до  $+250^{\circ}\text{C}$ ) - *полиимиды* и композиты на их основе.



## Бумага и картон

---

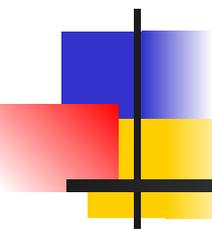
Самые тонкие и прочные бумаги используются для изготовления конденсаторов. Достаточно отметить, что плотность конденсаторных бумаг достигает  $1.6 \text{ т/м}^3$ , т.е. более, чем в 1.5 раза превышает плотность воды. При этом электрическая прочность бумаги толщиной 10 мкм, пропитанной трансформаторным маслом, составляет до 10 МВ/см.



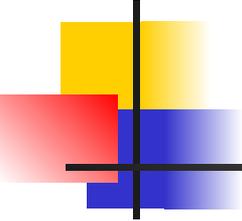
---

Электротехнический картон используется в качестве *диэлектрических дистанцирующих прокладок, шайб, распорок* и т.п. Картон, как правило, используется после пропитки трансформаторным маслом. Электрическая прочность пропитанного картона достигает **40-50 кВ/мм**. Маслобарьерная изоляция обычно имеет прочность  **$E=300-400$  кВ/см**. Недостатком картона является гигроскопичность

# Материалы для изоляторов.



В последнее время бурно развивается производство изоляторов для ВЛ на основе *кремнийорганической резины*. Этот материал относится к каучукам, основное свойство которых - эластичность. В энергетике используются разные типы каучуков: натуральные каучуки, бутадиеновые, бутадиен-стирольные, этиленпропиленовые и кремнийорганические.

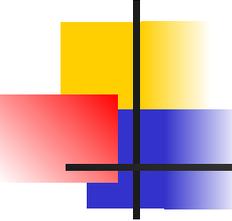


---

Основу кремнийорганических резин составляют  
*полиорганосилоксаны:*



Где R - одинаковые, либо разные органические радикалы. В зависимости от типа этих радикалов меняются свойства кремнийорганической резины. Свойства чистых кремнийорганических резин неудовлетворительны, в первую очередь ввиду низкой прочности и недостаточной свето-озоностойкости. В качестве усиливающих активных наполнителей используют нанопорошки двуокиси кремния (аэросил, белая сажа) и двуокиси титана.



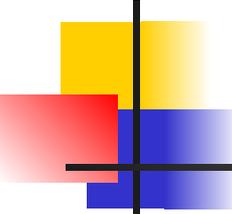
## Электрофизические и теплофизические свойства материала

---

- диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 2.9-3.6$ ;
- удельное объемное сопротивление  $10^{12}-10^{13}$  Ом·м;
- удельное поверхностное сопротивление  $10^{12}-10^{14}$  Ом;
- тангенс угла диэлектрических потерь  $5 \cdot 10^{-4}-2 \cdot 10^{-3}$ ;
- электрическая прочность 18-24 кВ/мм,  
теплоемкость 1.2-1.5 кДж/(кг·К);  
плотность 1100-1600 кг/м<sup>3</sup>;  
прочность на разрыв 4-6 МПа.

Свойства кремнийорганических резин :

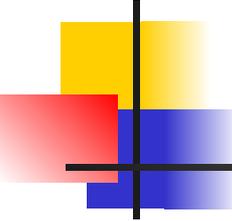
высокая теплоемкость, сравнительно невысокая механическая прочность, стойкость к действию озона, света и масла, морозостойкость (- 50÷-90)°С и нагревостойкость (180÷250)°С, влагонепроницаемость, но газопроницаемость, масло-бензонестойкость.



# Керамика

---

- (греч. keramos - глина), в узком смысле обозначает глину, прошедшую обжиг. Однако современное использование этого термина расширяет его значение до включения всех неорганических неметаллических материалов.
- Исторически керамические изделия были жёсткими, пористыми и хрупкими. Изучение керамики приводит к разработке все новых и новых методов для решения данных проблем, уделяя особое внимание сильным сторонам материалов, а также их использованию.
- Материал и технология, которые используются как в декоративно-прикладном искусстве (разнообразные сосуды), так и в скульптуре (статуэтки), строительстве (кирпич, черепица, изразцы). Керамика известна с глубокой древности и является, возможно, первым созданным человеком материалом. Различными видами керамики являются терракота, майолика, фаянс, каменная масса, фарфор.
- **Области применения керамики**
- Созданы типы керамики, которые можно использовать в самых разных областях промышленности. Так, керамическую основу спрессовывают и спекают с металлической пудрой. В результате получается жаростойкий материал, называемый керметом. Керметы используют для изготовления головных обтекателей и теплоизоляционных покрытий космических челноков, деталей ракетных и реактивных двигателей.
- Керамические детали автомобильных двигателей намного легче, прочнее и долговечней чем металлические.
- Некоторые виды керамики, содержащие оксид меди, являются сверхпроводниками при сверхнизких температурах.



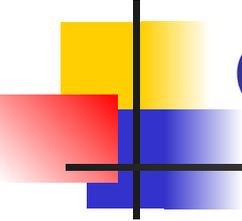
# Электротехнический фарфор

---

К числу наиболее ценных его *свойств* относится высокая стойкость к атмосферным воздействиям, положительным и отрицательным температурам, к воздействию химических реагентов, высокие механическая и электрическая прочность, дешевизна исходных компонентов.

Это определило широкое применение фарфора для производства изоляторов.

*Недостатками фарфора* являются хрупкость, высокая плотность, низкая теплопроводность, высокие диэлектрические потери.



# Основные параметры фарфора

---

диэлектрическая проницаемость при 50 Гц

5,0-7,0

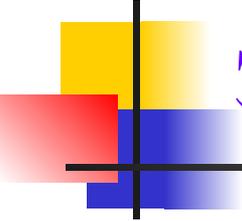
$E_{\text{пр}}$  при 50 Гц 25-30 МВ/м

удельное объемное сопротивление при  
20<sup>0</sup>С  $10^9-10^{11}$  Ом · м;  $\text{tg}\delta$  при

50 Гц :  $25-30 \cdot 10^{-3}$  ;

удельная теплоемкость при 20-100<sup>0</sup> С

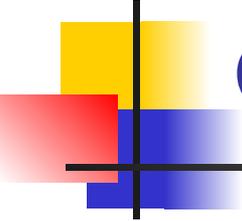
800-900 Дж/(кг · К)



## Электротехническое стекло

---

в качестве материала для изоляторов имеет некоторые преимущества перед фарфором. В частности у него более стабильная сырьевая база, проще технология, допускающая большую автоматизацию, возможность визуального контроля неисправных изоляторов. По химическому составу стекло является набором окислов кремния, бора, алюминия, натрия, кальция и т.п. По термодинамическому состоянию оно представляет собой сильно загустевшую жидкость вследствие переохлаждения.



# Основные параметры стекла

---

диэлектрическая проницаемость

4,8-8,2

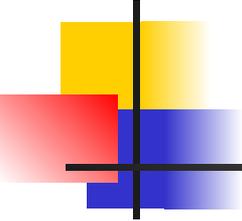
удельное объемное сопротивление

$10^{12}-10^{16}$  Ом · м;

tgδ при

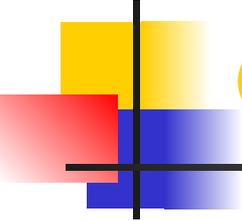
$10^3-10^6$  Гц :  $(5-250) \cdot 10^{-4}$ ; удельная

теплоемкость  $0,3-1,0$  кДж/(кг · с)



---

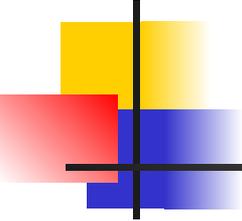
Обычное, щелочное стекло *непригодно* для изготовления изоляторов ввиду растрескивания, помутнения и т.п. в условиях эксплуатации. Для этой цели разработано специальное малощелочное (без натрия и калия) стекло. К *недостаткам стекла*, точнее способа его производства, относится большая энергоемкость получения материала, т.к. стекло длительно варят при высоких температурах.



# Слюдяные материалы

---

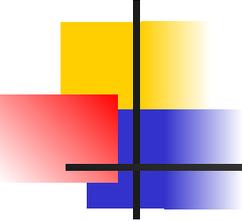
- Главное **достоинство** слюды - высокая термостойкость наряду с достаточно высокими электроизоляционными характеристиками. В электротехнике используют два вида слюд: мусковит  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$  и флогопит  $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ . Высокие электроизоляционные характеристики слюды обязаны ее необычному строению, а именно - слоистости. Из других свойств слюды отметим невысокий  $\text{tg}\delta$ , менее чем  $10^{-2}$ ; высокое удельное сопротивление, более  $10^{12}$  Ом·м; достаточно высокую электрическую прочность, более 100 кВ/мм; термостойкость, температура плавления более  $1200^\circ\text{C}$ .

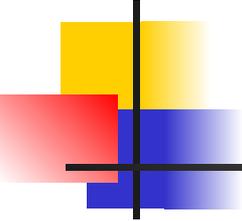


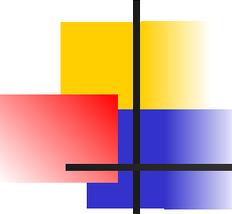
---

Слюда используется в качестве электрической изоляции, как в виде щипаных тонких пластинок, в.т.ч. склеенных между собой (миканиты), так и в виде слюдяных бумаг, в.т.ч. пропитанных различными связующими (слюдиниты или слюдопласты).

*Миканиты* обладают лучшими механическими характеристиками и влагостойкостью, но они более дороги и менее технологичны. Применение - пазовая и витковая изоляция электрических машин.

- 
- 
- **Слюдиниты** - листовые материалы, изготовленные из слюдяной бумаги на основе мусковита. Иногда их комбинируют с подложкой из стеклоткани (стеклослюдинит), или полимерной пленки (пленкослюдинит). Бумаги, пропитанные лаком, или другим связующим, обладают лучшими механическими и электрофизическими характеристиками, чем непропитанные бумаги, но их термостойкость обычно ниже, т.к. она определяется свойствами пропитывающего связующего.

- 
- 
- **Слюдапласты** - листовые материалы, изготовленные из слюдяной бумаги на основе флогопита и пропитанные связующими. Применение слюдинитов и слюдопластов - изоляция электрических машин, нагревостойкая изоляция электрических приборов.



# Ситаллы

---

- стеклокристаллические материалы, полученные объёмной кристаллизацией стекол и состоящие из одной или несколько кристаллических фаз, равномерно распределённых в стекловидной фазе.
- Ситаллы обладают малой плотностью (они легче алюминия), высокой механической прочностью, особенно на сжатие, твердостью, жаропрочностью, термической стойкостью, химической устойчивостью и другими ценными свойствами.
- Подбором состава стекла, содержащего в большинстве случаев добавки, ускоряющие объёмную кристаллизацию (катализаторы, нуклеаторы), можно запроектировать соответствующие кристаллические и стекловидную фазы. Кристаллы запроектированных фаз возникают и растут равномерно по всему объёму в результате термической обработки. Технология производства изделий из ситаллов незначительно отличается от производства изделий из стекла. В некоторых случаях изделия можно формовать методами керамической технологии. Иногда для зарождения кристаллов в состав стекла вводят фоточувствительные добавки. Для производства отдельных видов ситаллов используют шлаки.
- Перспективные строительные и конструкционные материалы (обтекатели ракет и сверхзвуковых управляемых снарядов, химически стойкая аппаратура, мостостроительные конструкции и др.

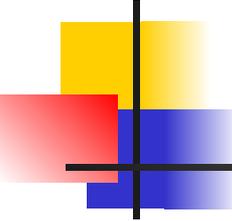
# СТЕКЛОКЕРАМИКА (СИТАЛЛЫ)

- **СИТАЛЛЫ** - стеклокристаллические материалы различного назначения с широким спектром свойств.
- СИТАЛЛ ТЕХНИЧЕСКОГО и БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ - материал **для плоских электронагревателей, смотровых окон, кухонной посуды** - прозрачной, янтарного цвета и непрозрачной - белого.
- Основные свойства ситаллов

	прозрачный	непрозрачный
■ Коэффициент линейного расширения, ТКРЛ, $10^7\text{K}^{-1}$ , в интервале температур от $20^\circ\text{C}$ до $-500^\circ\text{C}$	15	25
■ Термостойкость, $^\circ\text{C}$	150	330
■ Температура эксплуатации, $^\circ\text{C}$	630	1030

- Прозрачная посуда предназначена для микроволновых печей, непрозрачная - для любых нагревателей.
- ИК-ПРОЗРАЧНЫЙ **цветной СИТАЛЛ для тонкостенных настилов (панелей) электропечей с различными типами нагревателей, поддонов для микроволновых печей, смотровых окон бытовых каминов** обладает высокой термостойкостью, низкой тепловой инертностью, высокой химической стойкостью.
- ТКРЛ,  $10^7\text{K}^{-1}$  в интервале температур **20-600 $^\circ\text{C}$** ,
- Светопропускание в диапазоне **400 - 700 нм**,
- Температура эксплуатации,

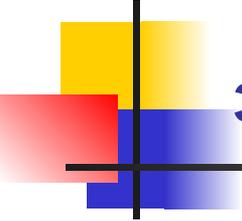
4 - 8  
9%  
600  $^\circ\text{C}$



## СИТАЛЛОВЫЕ ШАРИКИ ДИАМЕТРОМ ОТ 6 до 70 мм

---

- Шарики из ситалла – стеклокристаллического материала, получаемого при кристаллизации стекла определенного химического состава, в частности волластонитового ( $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), имеют высокие физико-механические и химические свойства, что обеспечивает их широкое применение в клапанах дозирочных насосов высокого давления, работающих в среде кислот, щелочей и других агрессивных жидкостей.
- Ситалловые шарики имеют высокую твердость и износостойкость.
- Кислотостойкость и Щелочеустойчивость намного выше, чем у нержавеющей стали
- Применение ситалловых шариков вместо нержавеющей сталей и сплавов (стали марок 12Х18Н10Т, 95Х18, сплав ЖС-ЗДК) в химической, нефтехимической промышленности, на тепловых и атомных электростанциях, где перекачивается более 100 типов жидкости, позволяет облегчить конструкцию (плотность  $2540 \text{ кг/м}^3$  вместо  $7800 \text{ кг/м}^3$  у сталей и сплавов), увеличить долговечность, свести до минимума потери от коррозии.



## Заключение

---

Познакомились с полимерными материалами, бумагой, керамикой, фарфором, стеклом, ситаллами, слюдяными материалами.

**Благодарю за внимание!**