

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 036302

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.10.23

(21) Номер заявки
201990105

(22) Дата подачи заявки
2017.06.26

(51) Int. Cl. C03C 3/087 (2006.01)
C03C 21/00 (2006.01)

(54) ЛИСТОВОЕ СТЕКЛО, ПРИГОДНОЕ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ

(31) 16176447.7

(32) 2016.06.27

(33) EP

(43) 2019.05.31

(86) PCT/EP2017/065717

(87) WO 2018/001965 2018.01.04

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
АГК ГЛАСС ЮРОП (BE)

(72) Изобретатель:
Ламбрихт Томас (BE)

(74) Представитель:
Квашнин В.П. (RU)

(56) WO-A1-2014200097
US-A1-2013093312
US-A1-2012297829
US-A1-2013302618

(57) Настоящее изобретение относится к листовому стеклу, композиция стекла которого содержит следующие массовые доли компонентов в процентах в пересчете на общий вес стекла: $60 \leq \text{SiO}_2 \leq 78\%$, $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$, $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 12\%$, $4,9 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 7,5\%$, $0,4 < \text{CaO} < 2\%$, $5 \leq \text{MgO} \leq 12\%$, $\text{ZrO}_2 < 0,1\%$. Изобретение направлено на легко поддающиеся химической закалке композиции стекла натрий-силикатного типа, которое более пригодно для массового производства, чем алюмосиликатное стекло, и поэтому его можно получать с меньшими затратами и его состав основы стекла/матрицы близок к композициям, уже используемым в массовом производстве или незначительно отличается от них.

B1

036302

036302

B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к листовому стеклу, приспособленному для химической закалки/упрочнения. В частности, настоящее изобретение относится к листовому стеклу, которое легко поддается химической закалке/упрочнению и которое недорого и просто в производстве.

Химически упрочненное листовое стекло находит все большее применение при специализированном остеклении, в котором механическая устойчивость является требуемым/обязательным качеством, в монолитной или ламинированной форме, например, в транспортной (т.е. авиационной, автомобильной), строительной/архитектурной промышленности и производстве отображающих экранов. Среди таких применений производство отображающих экранов за последние несколько лет превратилось в огромный рынок спроса на химически упрочненное прозрачное листовое стекло, применяемое в качестве защитного/покрывного стекла, смотрового окна или (сенсорного) экрана для бесчисленных электронных устройств, таких как мобильные телефоны, смартфоны, телевизоры, компьютеры, цифровые камеры и т.п. Действительно, поскольку многие из этих устройств являются портативными, механические свойства стекла для таких применений востребованы в значительной степени, поэтому особенно необходимо, чтобы такое стекло могло выдерживать удар и/или противостоять повреждению, как, например, при царапании или ударе, в ходе эксплуатации и при транспортировке. Химическое упрочнение еще более важно в области отображающих экранов, поскольку в данной области требуется листовое стекло с малой толщиной (тоньше 1 мм), поэтому химическое упрочнение зарекомендовало себя как способ, более востребованный, чем механически упрочненное (сверхтонкое листовое стекло). По причинам веса применение тонкого листового стекла также является предпочтительным для покрывного стекла для солнечных, тепловых или фотоэлектрических устройств.

Решения, известные из уровня техники

Химическое упрочнение стеклянного изделия представляет собой вызванный нагреванием ионный обмен, заключающийся в замене в поверхностном слое стекла щелочных ионов натрия, обладающих малым размером, на более крупные ионы, например щелочные ионы калия. Повышение напряжения поверхностного сжатия происходит в стекле по мере внедрения ионов большего размера в меньшее пространство, ранее занимаемое ионами натрия. Такую химическую обработку, как правило, осуществляют, погружая стекло в ванну с ионообменным расплавом, содержащим одну или несколько расплавленных солей с ионами большего размера, при точном контроле температуры и времени. Сопротивление разрушению стеклянного изделия, прошедшего такую обработку, тем самым повышается на величину, примерно равную создаваемому поверхностному напряжению сжатия.

Тем не менее, повреждение, затрагивающее поверхность химически упрочненного стекла в ходе его эксплуатации, приводит к снижению этого упрочняющего эффекта и даже может свести его на нет, если повреждение проникает сквозь слой, находящийся в сжатом состоянии. По этой причине, в зависимости от применения, для которого предназначено химически упрочненное стекло, основное внимание уделяется достижению высоких значений поверхностного напряжения сжатия (или "CS") и/или большой толщины слоя сжатия, находящегося под сжатием (которая связана с параметром, называемым "толщина слоя" или "DoL", а именно глубина, на которую проникают вводимые ионы), которая в идеальном случае равна, по меньшей мере, глубине наибольшего возможного дефекта/повреждения, которое может произойти со стеклом в ходе его эксплуатации или которое уже может присутствовать перед упрочнением. Сочетание этих двух параметров в общем считается адекватно определяющим качество получаемой механической прочности. Действительно, для заданного размера дефекта, исходя из напряжения сжатия и глубины слоя, можно оценить необходимое "упрочнение" химически упрочненного стекла. В статье "Review - Ion exchange for glass strengthening" автора Rene Gy, опубликованной в Master Science and Engineering B (149, 2008, 159-165), хорошее приближение для этого упрочнения (или $\sigma_{\text{упрочнения}}$) выполняется по следующей формуле:

$$\sigma_{\text{упрочнения}} = \sigma_s (1 - 2c/\pi \cdot x_c)$$

где σ_s - поверхностное напряжение сжатия (CS), x_c - глубина ионообменного слоя (DoL) и c - глубина дефекта. Для обеспечения упрочнения первым критерием является DoL, глубже, чем максимальная глубина дефекта. Кроме того, оба параметра CS и DoL должны быть оптимизированы с целью получения наибольшего возможного упрочнения. В большинстве применений требуется наибольшее возможное упрочнение и более конкретно - упрочнение выше чем 300 МПа или более предпочтительно выше чем 400 МПа, 500 МПа, наиболее предпочтительно выше 600 МПа.

Кроме того, в области отображающих экранов, если используется процесс "поштучной" обработки изделий для получения химически упрочненного листового стекла (резка до окончательного размера осуществляется до закалки), для прочности кромки требуется высокое значение DoL (предпочтительно выше чем 10 мкм, еще более предпочтительно выше чем 12 мкм и наиболее предпочтительно выше чем 15 мкм), в то время как при "листовом процессе" (резка до окончательного размера осуществляется после закалки) "напряжение в центре" (определяемое как $(CS \cdot DoL) / (\text{толщина стекла} - 2 \cdot DoL)$) должно быть низким.

Также известно, что два эти упрочняющих параметра для выбранной композиции также в значи-

тельной степени зависят от температурных и временных условий ионообменного процесса. Так, толщина слоя, находящегося под сжатием, повышается с повышением температуры и продолжительности ионообменного процесса в соответствии с известными законами диффузии. Однако чем выше температура, тем быстрее релаксирует напряжение, возникающее вследствие ионного обмена. Таким же образом увеличение продолжительности обработки до слишком длинного периода дает необходимое время для релаксации напряжения и тем самым приводит к меньшему упрочнению. Условия, которые необходимо выбрать для процесса, таким образом, должны быть сбалансированы в отношении оптимальной температуры и минимальной продолжительности, чтобы оптимизировать затраты на процесс.

Для снижения затрат на химическое упрочнение (ограничивая продолжительность и/или температуру для достижения требуемых значений напряжения сжатия и DoL) было предложено большое число (только описанных или уже имеющихся на рынке) композиций стекла "легко поддающихся химической закалке" (что означает, что они особенно предрасположены к ионному обмену), но им обычно присущи различные недостатки.

Многие из них содержат ингредиенты, основанные на дорогих исходных материалах и/или значительно модифицирующие физические свойства стекла (расплавленного или продуктового). Известно, что некоторые композиции стекла, пригодные для химической закалки, содержат, например, значительные количества лития и/или бора. Однако литий обладает тем недостатком, что он повышает плотность стекла, в то время как недостатком бора является то, что он иногда вызывает образование дымчатых полос при его испарении и корродирует печные стенки/футеровку. Помимо этого, дополнительным и существенным недостатком обоих является то, что они значительно повышают конечную стоимость стекла вследствие высокой цены соответствующих им исходных материалов.

Композиции алюмосиликатного стекла, например такие, как описаны в заявке на патент США US 2012/0196110 A1, стекло GORILLA®, продукт компании Corning, или стекло DragonTrail®, продукт компании Asahi Glass Co., также известны тем, что для них очень эффективна химическая закалка. Однако им присущи многие недостатки. Их высокотемпературные свойства затрудняют их производство (вязкость, способность к осветлению, формование, коррозия футеровки). Их стоимость относительно высока вследствие дороговизны некоторых исходных материалов (т.е. окиси алюминия) и высоких температур, необходимых в их производстве (большая энергетическая/топливная компонента).

В отличие от композиций алюмосиликатного стекла, композиции натрий-кальций-силикатного стекла не считаются хорошими кандидатами для композиций, легко поддающихся химической закалке, даже несмотря на их значительно меньшую стоимость.

И, наконец, известно, что даже незначительная модификация композиции стекла трудно осуществима вследствие того, что

линия производства стекла, и в частности линия флоат-стекла, требует значительных инвестиций, и их ремонт затруднен, если композиция, например, повреждает футеровку;

переходный период при изменении одной композиции на другую является тем параметром, который имеет большую важность при производстве стекла, поскольку продолжительный переходный период отрицательно сказывается на стоимости производства продуктового стекла.

Соответственно в области рынка отображающих экранов существует, в частности, потребность в поддающейся химической закалке композиции типа натрий-кальций-силикатного стекла, которая более пригодна для массового производства, чем алюмосиликатное стекло, и поэтому ее можно получать с меньшими затратами, и ее состав основы стекла/матрицы близок к композициям, уже используемым в массовом производстве, или незначительно отличается от них.

В этой связи в международной патентной заявке WO 2015150207 A1 предложена композиция стекла с очень низким содержанием окиси алюминия, содержащая следующие компоненты (в массовых долях): $65 \leq \text{SiO}_2 \leq 78\%$; $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$; $0 \leq \text{K}_2\text{O} < 5\%$; $1 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 4\%$; $0 \leq \text{CaO} < 4,5\%$; $4 \leq \text{MgO} \leq 12\%$ при соотношении (CaO/MgO) меньше 1. К сожалению, такая композиция стекла не позволяет достичь достаточного коэффициента упрочнения в течение разумного времени обработки, даже при том, что она частично удовлетворяет решению технических проблем, существующих в области техники в отношении химического упрочнения (DOL), и условиям при обработке.

Цели настоящего изобретения

Целью настоящего изобретения, в частности, является устранение изложенных недостатков и решение поставленной технической задачи, т.е. предложить композицию (состав) стекла, легко поддающуюся химической закалке, или, другими словами, более склонную к ионному обмену, чем обычные композиции натрий-кальций-силикатного стекла.

Другой целью данного изобретения по меньшей мере в одном варианте его осуществления является предложить композицию стекла, легко поддающуюся химической закалке, и которая позволяет достичь высоких значений напряжения сжатия (CS). В частности, целью данного изобретения в таком контексте является предложить композицию стекла, легко поддающуюся химической закалке, и которая позволяет достичь значений CS, сравнимых со значениями известного в уровне техники алюмосиликатного стекла, т.е. выше чем 900 МПа.

Другой целью данного изобретения по меньшей мере в одном варианте его осуществления является предложить композицию стекла, легко поддающуюся химической закалке, и которая позволяет достичь параметров упрочнения, которые удовлетворяют требованиям "поштучного" процесса, используемого для производства покровного стекла для отображающих изображений устройств (прочность кромки, получаемая обычно при $DoL > 10-15$ мкм).

Другой целью данного изобретения по меньшей мере в одном варианте его осуществления является предложить композицию стекла, легко поддающуюся химической закалке, и которая позволяет достичь высоких значений DoL , при этом сохраняя высокие значения напряжения сжатия, что приводит к высокой степени упрочнения. В частности, целью данного изобретения в таком контексте является предложить композицию стекла, позволяющую получать упрочнение выше чем 500 МПа или еще лучше - выше чем 600 МПа.

Другой целью данного изобретения по меньшей мере в одном варианте его осуществления является предложить композицию стекла, легко поддающуюся химической закалке и простую в производстве, в частности на уже существующей линии производства классического натрий-кальций-силикатного стекла. В частности, целью данного изобретения в таком контексте является предложить композицию стекла, легко поддающуюся химической закалке, и которая не требует длительного переходного периода при переходе от производства классической натрий-кальций-силикатной композиции к композиции, поддающейся закалке (и наоборот). По-прежнему в таком контексте целью данного изобретения в таком контексте является предложить композицию стекла, легко поддающуюся химической закалке, и которая не требует использования исходных материалов, технических приемов и/или установки промышленного оборудования, которые отличаются от используемых для обычного классического натрий-кальций-силикатного стекла (или, другими словами, совместима с классическим флоат-процессом). Более конкретно, целью данного изобретения по меньшей мере в одном варианте его осуществления является предложить композицию стекла, легко поддающуюся химической закалке, с заданными свойствами (низкой вязкостью, с более низкой температурой рабочей точки, точкой плавления $< 1550-1500^{\circ}\text{C}$, которая поддается осветлению сульфатами, низкой коррозионностью в отношении футеровки, подходящей температурой расстеклования), таким образом, позволяя избежать недостатков алюмосиликатной композиции и приспособив композицию к существующему оборудованию для производства известково-натриевого стекла.

И, наконец, целью настоящего изобретения является предложить решение, позволяющее избежать недостатков предшествующего уровня техники, которое является простым, быстрым и самое главное экономичным.

Описание изобретения

Настоящее изобретение относится к листовому стеклу, композиция стекла которого содержит следующие массовые доли компонентов в процентах в пересчете на общий вес стекла:

$$60 \leq \text{SiO}_2 \leq 78\%$$

$$5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$$

$$0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 12\%$$

$$4,9 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 8\%$$

$$0,4 < \text{CaO} < 2\%$$

$$4 < \text{MgO} \leq 12\%.$$

Следовательно, изобретение заключается в новом и усовершенствованном подходе, поскольку оно предлагает решение, которое устраняет недостатки уровня техники, в частности недостатки алюмосиликатных стекол, в то же время сохраняя, по меньшей мере частично, их преимущества. Изобретателями было обнаружено, что есть возможность получать легко поддающееся химической закалке листовое стекло, в частности с достаточно глубоким DoL и высоким коэффициентом упрочнения, которое дешево и просто в массовом производстве, путем сочетания натрий-силикатной стеклянной матрицы, среднего содержания окиси алюминия, очень низкого содержания CaO , определенных пределов для MgO и обязательного присутствия K_2O в значительных количествах.

В настоящем тексте при указании диапазона включены его крайние значения. Кроме того, все целые и дробные значения в числовом диапазоне включены безоговорочно, как если бы они были указаны явным образом. Также в настоящем тексте величины содержания в процентах представлены в массовых долях (также упоминаются как вес.%) в пересчете на общий вес стекла.

Другие признаки и преимущества настоящего изобретения будут более понятными после прочтения следующего описания предпочтительных вариантов осуществления, приведенных лишь в качестве иллюстративных и неограничивающих примеров.

Листовое стекло данного изобретения выполнено из натрий-силикатной стеклянной композиции/матрицы, содержащей SiO_2 и Na_2O в качестве основных компонентов и дополнительно содержащей MgO , Al_2O_3 и т.п. и необязательно CaO , K_2O и т.п.

Листовое стекло данного изобретения приспособлено для химической закалки или, другими словами, пригодно для ионного обмена/способно подвергаться ионному обмену.

Листовое стекло данного изобретения может представлять собой листовое стекло, получаемое посредством флоат-процесса (процесса термополирования), процесса вытягивания, процесса проката или любого другого известного процесса для изготовления листового стекла, начиная с расплавленной композиции стекла. Согласно предпочтительному варианту осуществления листовое стекло является листовым флоат-стеклом (термополированным стеклом). Под термином "листовое термополированное стекло" понимают листовое стекло, сформированное в процессе изготовления термополированием, который состоит в выливании расплавленного стекла на ванну расплавленного олова при восстанавливающих условиях. Листовое термополированное стекло содержит известным образом "оловянную поверхность", то есть поверхность, обогащенную оловом, в теле стекла возле поверхности листа. Под термином "обогащение оловом" понимают увеличение концентрации олова по отношению к концентрации олова состава стекла во внутренней части, которая может быть или не быть, по существу, нулевой (лишенной олова). Таким образом, листовое термополированное стекло можно легко отличить от листов, полученных с помощью других процессов производства стекла, в частности по содержанию оксида олова, которое можно измерить, например, с помощью электронного микроскопа на глубине до ~10 мкм. Во многих случаях и в качестве иллюстрации данное количество находится в диапазоне от 1 до 5 вес.% в целом по первым 10 мкм, начиная от поверхности.

Листовое стекло согласно данному изобретению может иметь разные и относительно большие размеры. Оно может иметь размеры, например, в интервале не более 3,21 м × 6 м, или 3,21 м × 5,50 м, или 3,21 м × 5,10 м, или 3,21 м × 4,50 м (лист стекла "PLF"), или также, например, 3,21 м × 2,55 м, или 3,21 м × 2,25 м (листовое стекло "DLF").

Листовое стекло согласно данному изобретению может иметь толщину от 0,1 до 25 мм. Преимущественно, в случае применения для отображающих экранов, листовое стекло согласно данному изобретению предпочтительно может иметь толщину от 0,1 до 6 мм. Более предпочтительно, в случае применения для отображающих экранов и по соображениям веса, толщина листового стекла согласно данному изобретению составляет от 0,1 до 2,2 мм.

Согласно одному варианту осуществления данного изобретения в состав листового стекла не входит бор. Это означает, что бор преднамеренно не добавляют в стеклянную партию/сырье и что, если он присутствует, содержание B_2O_3 в композиции листового стекла достигает только уровня примеси, неизбежно включаемого в производство. Например, массовая доля B_2O_3 в композиции листового стекла данного изобретения составляет менее 0,01 или предпочтительно менее 0,005%.

Согласно одному варианту осуществления данного изобретения в состав листового стекла не входит литий. Это означает, что литий преднамеренно не добавляют в стеклянную партию/сырье и что, если он присутствует, содержание Li_2O в композиции листового стекла достигает только уровня примеси, неизбежно включаемого в производство. Например, массовая доля Li_2O в композиции листового стекла данного изобретения составляет менее 0,01% или предпочтительно менее 0,005%.

Согласно данному изобретению композиция листового стекла содержит массовую долю $0,4 < CaO < 2\%$; предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $CaO \geq 0,6\%$ и более предпочтительно - $CaO \geq 0,7\%$. В особенно предпочтительном варианте осуществления, композиция листового стекла содержит массовую долю $CaO \geq 0,8\%$. Также предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $CaO \leq 1,8\%$, или более предпочтительно $CaO \leq 1,5\%$, или даже $CaO \leq 1,2\%$. Минимальные значения предпочтительных интервалов содержания CaO выбирают так, чтобы ограничить, насколько это возможно, продолжительность переходного периода, который становится слишком длительным при достижении очень низких количеств CaO . Максимальные значения предпочтительных интервалов содержания CaO выбирают так, чтобы ограничить отрицательное воздействие от низкой интенсивности поля CaO на взаимную диффузию калия и натрия в ходе химического упрочнения. Чтобы избежать какой-либо неясности, каждый вариант осуществления, касающийся более низких пределов содержания CaO , конечно же независимо может объединяться с любым возможным вариантом осуществления, касающимся более высоких пределов содержания CaO . В особенно предпочтительном варианте осуществления композиция листового стекла содержит массовую долю $0,6 \leq CaO \leq 1,2\%$ или даже $0,8 \leq CaO \leq 1,2\%$.

Согласно данному изобретению композиция листового стекла содержит массовую долю $4,9 \leq Al_2O_3 \leq 8\%$. Предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $Al_2O_3 \geq 5\%$ и в более предпочтительном случае $Al_2O_3 \geq 5,2\%$ или даже лучше $Al_2O_3 \geq 5,5\%$. Также предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $Al_2O_3 \leq 7,8\%$ и еще более предпочтительном случае $Al_2O_3 \leq 7,5\%$; 7% ; $6,5\%$; $6,2\%$; 6% . Эти минимальные значения позволяют обеспечить достаточное напряжение сжатия и коэффициент упрочнения. Эти максимальные значения позволяют, насколько это возможно, ограничить отрицательное воздействие на вязкость. Чтобы избежать какой-либо неясности, каждый вариант осуществления, касающийся более низких пределов содержания Al_2O_3 , конечно же, независимо может объединяться с любым возможным вариантом осуществления, касаю-

щимся более высоких пределов содержания CaO. В очень предпочтительном варианте композиция листового стекла содержит массовую долю $5 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 6,5\%$ или даже лучше $5,2 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 6,5\%$. В особенно предпочтительном варианте композиция листового стекла содержит массовую долю $5,2 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 5,9\%$.

Согласно данному изобретению композиция листового стекла содержит массовую долю $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$. Предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $\text{Na}_2\text{O} \geq 7\%$, в более предпочтительном случае $\text{Na}_2\text{O} \geq 9\%$ или даже лучше $\text{Na}_2\text{O} \geq 10\%$. В очень предпочтительном варианте композиция листового стекла содержит массовую долю $\text{Na}_2\text{O} \geq 12\%$. Эти минимальные значения позволяют обеспечить достаточно низкую вязкость. Также предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $\text{Na}_2\text{O} \leq 19\%$ или даже лучше $\text{Na}_2\text{O} \leq 18\%$, чтобы избежать, насколько это возможно, коррозии печной футеровки, а также ограничить, насколько это возможно, негативное воздействие на CS. Чтобы избежать какой-либо неясности, каждый вариант осуществления, касающийся более низких пределов содержания Na_2O , конечно же, независимо может объединяться с любым возможным вариантом осуществления, касающимся более высоких пределов содержания Na_2O .

Согласно данному изобретению композиция листового стекла содержит массовую долю $4 \leq \text{MgO} \leq 12\%$. Предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $\text{MgO} > 5\%$ и в еще более предпочтительном случае $\text{MgO} \geq 6\%$; 7% ; $7,5\%$; 8% ; $8,5\%$; 9% . Также предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю: $\text{MgO} \leq 11\%$ или лучше $\text{MgO} \leq 10\%$. Эти минимальные значения позволяют получить достаточные CS, при этом обеспечивая не очень высокую вязкость. Максимальные значения позволяют, насколько это возможно, ограничить отрицательное воздействие на DOL (путем ограничения влияния интенсивности поля MgO на диффузию щелочи), при этом также позволяя не слишком увеличивать температуру расстеклования. Чтобы избежать какой-либо неясности, каждый вариант осуществления, касающийся более низких пределов содержания MgO, конечно же, независимо может объединяться с любым возможным вариантом осуществления, касающимся более высоких пределов содержания MgO. В особенно предпочтительном варианте композиция листового стекла содержит массовую долю $7,5 \leq \text{MgO} \leq 11\%$.

Согласно данному изобретению композиция листового стекла содержит массовую долю $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 12\%$. Предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $\text{K}_2\text{O} \geq 1\%$ и в еще более предпочтительном случае $\text{K}_2\text{O} \geq 1,1\%$; $1,2\%$; $1,5\%$. Также предпочтительно, чтобы композиция листового стекла содержала массовую долю $\text{K}_2\text{O} \leq 11\%$ и в еще более предпочтительном случае $\text{K}_2\text{O} \leq 10\%$; $\leq 9\%$; $\leq 8\%$; $\leq 7\%$; $\leq 6\%$; $\leq 5\%$; $\leq 4\%$; $\leq 3\%$. Минимальные значения предпочтительных интервалов содержания K_2O позволяют улучшить показатели химического упрочнения, а также снизить вязкость. Максимальные значения позволяют ограничить отрицательное воздействие на Tg, а также снизить конечную стоимость листового стекла. Чтобы избежать какой-либо неясности, каждый вариант осуществления, касающийся более низких пределов содержания K_2O , конечно же, независимо может объединяться с любым возможным вариантом осуществления, касающимся более высоких пределов содержания K_2O .

В особенно предпочтительном варианте композиция листового стекла содержит массовую долю $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 6\%$ или еще более предпочтительно $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 3\%$.

Согласно одному варианту осуществления данного изобретения композиция листового стекла удовлетворяет следующему соотношению: $0,7 \leq [\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})] < 1$. Предпочтительно, чтобы композиции листового стекла удовлетворяла следующему соотношению: $[\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})] \geq 0,75$ и в еще более предпочтительном случае $[\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})] \geq 0,8$; $\geq 0,88$; $\geq 0,89$. Также предпочтительно, чтобы композиция листового стекла удовлетворяла следующему соотношению: $[\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})] < 0,98$ и в еще более предпочтительном случае $[\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})] < 0,95$; $0,92$; $0,90$. Минимальные значения предпочтительных интервалов выбирают так, чтобы гарантировать удовлетворительные показатели химического упрочнения. Максимальные значения предпочтительных интервалов выбирают так, чтобы ограничить переходный период, необходимый для достижения такого соотношения $[\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})]$, при этом поддерживая другие свойства/показатели на приемлемом уровне. Чтобы избежать какой-либо неясности, каждый вариант осуществления, касающийся более низких пределов соотношения $[\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})]$, конечно же, независимо может объединяться с любым возможным вариантом осуществления, касающимся более высоких пределов соотношения $[\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})]$.

Согласно другому варианту осуществления данного изобретения композиция листового стекла удовлетворяет следующему соотношению: $0,05 \leq [\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] \leq 0,7$. Предпочтительно, чтобы композиция листового стекла удовлетворяла следующему соотношению: $[\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] \geq 0,06$ и в еще более предпочтительном случае $[\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] \geq 0,07$; $0,08$; $0,09$; $0,1$. Также предпочтительно, чтобы композиция листового стекла удовлетворяла следующему соотношению: $[\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] \leq 0,6$ и в еще более предпочтительном случае $[\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] \leq 0,5$; $\leq 0,4$; $\leq 0,3$. Такие предпочтительные интервалы позволяют оптимизировать так называемый "полищелочной эффект" с целью достижения удовлетворительной взаимной диффузии калия и натрия. Чтобы избежать какой-либо неясности, каждый вариант осуществления, касающийся более низких пределов соотношения $[\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})]$, конечно же, независимо мо-

жет объединяться с любым возможным вариантом осуществления, касающимся более высоких пределов соотношения $[K_2O/(K_2O+Na_2O)]$.

Согласно одному варианту осуществления данного изобретения общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в композиции в массовых долях изменяется от 0,002 до 1,7%. Предпочтительно, чтобы общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в композиции данного изобретения в массовых долях изменялось от 0,002 до 0,6%, более предпочтительно изменялось от 0,002 до 0,2% или даже от 0,002 до 0,1%. В особенно предпочтительном варианте осуществления в композиции изобретения общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в массовых долях изменяется от 0,002 до 0,06%. Общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3), меньше или равное массовой доле 0,06%, позволяет получать листовое стекло практически без видимой окраски, обеспечивая больше возможных решений при эстетическом оформлении (например, не получая цветовых вариаций при белой шелкографии некоторых стеклянных элементов смартфонов). Минимальное значение позволяет избежать как такового сильного удорожания стекла, поскольку для обеспечения низкого содержания железа часто требуются дорогостоящие, очень чистые исходные материалы, а также их очистка. Предпочтительно, чтобы общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в композиции в массовых долях изменялось от 0,002 до 0,04%. Более предпочтительно, чтобы общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в композиции в массовых долях изменялось от 0,002 до 0,02%. В наиболее предпочтительном варианте осуществления общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в композиции в массовых долях изменяется от 0,002 до 0,015% или даже от 0,002 до 0,012%.

В соответствии с особенно предпочтительным вариантом осуществления композиция листового стекла данного изобретения содержит следующие массовые доли (в процентах) в пересчете на общий вес стекла:

$$\begin{aligned} 60 &\leq SiO_2 \leq 78\% \\ 5 &\leq Na_2O \leq 20\% \\ 0,9 &< K_2O \leq 6\% \\ 4,9 &\leq Al_2O_3 \leq 7\% \\ 0,4 &< CaO \leq 1,5\% \\ 6 &\leq MgO \leq 12\%. \end{aligned}$$

В соответствии с этим последним вариантом осуществления более предпочтительно, чтобы композиция листового стекла данного изобретения содержала следующие массовые доли (в процентах) в пересчете на общий вес стекла:

$$\begin{aligned} 60 &\leq SiO_2 \leq 78\% \\ 5 &\leq Na_2O \leq 20\% \\ 0,9 &< K_2O \leq 3\% \\ 5 &\leq Al_2O_3 \leq 6,5\% \\ 0,6 &\leq CaO \leq 1,2\% \\ 7,5 &\leq MgO \leq 11\%. \end{aligned}$$

Согласно другому варианту осуществления массовая доля ZnO в композиции листового стекла составляет менее 0,1%. Предпочтительно в состав листового стекла ZnO не входит. Это означает, что элемент цинк преднамеренно не добавляют в стеклянную партию/сырье и что, если он присутствует, содержание ZnO в композиции листового стекла достигает только уровня примеси, неизбежно включаемого в производство.

Согласно другому варианту осуществления массовая доля ZrO_2 в композиции листового стекла составляет менее 0,1%. Предпочтительно в состав листового стекла ZrO_2 не входит. Это означает, что элемент цирконий преднамеренно не добавляют в стеклянную партию/сырье и что, если он присутствует, содержание ZrO_2 в композиции листового стекла достигает только уровня примеси, неизбежно включаемого в производство.

Согласно еще одному варианту осуществления массовая доля BaO в композиции листового стекла составляет менее 0,1%, даже менее 0,05%. Предпочтительно в состав листового стекла BaO не входит. Это означает, что элемент барий преднамеренно не добавляют в стеклянную партию/сырье и что, если он присутствует, содержание BaO в композиции листового стекла достигает только уровня примеси, неизбежно включаемого в производство.

Согласно еще одному варианту осуществления массовая доля SrO в композиции листового стекла составляет менее 0,1%, даже менее 0,05%. Предпочтительно в состав листового стекла SrO не входит. Это означает, что элемент стронций преднамеренно не добавляют в стеклянную партию/сырье и что, если он присутствует, содержание SrO в композиции листового стекла достигает только уровня примеси, неизбежно включаемого в производство.

Согласно еще одному варианту осуществления композиция листового стекла имеет содержание SnO_2 в объеме ниже чем 0,1 вес.% (содержание SnO_2 в объеме исключает "оловянную поверхность" термополированного листового стекла). Предпочтительно в состав листового стекла в объеме не входит SnO_2 . Это означает, что элемент олово преднамеренно не добавляют в стеклянную партию/сырье и что, если он присутствует, содержание SnO_2 в объеме композиции листового стекла достигает только уровня примеси, неизбежно включаемого в производство.

Согласно предпочтительному варианту осуществления данного изобретения композиция содержит окрашивающие компоненты, отличающиеся от оксидов железа, хрома, кобальта и эрбия, с суммарной массовой долей менее чем 0,005%. Такой вариант осуществления позволяет контролировать цвет и тем самым предоставляет нейтральное листовое стекло, как это в основном требуется в случае применений для отображающих экранов. Более предпочтительно, чтобы композиция данного изобретения содержала окрашивающие компоненты, отличающиеся от оксидов железа, хрома и кобальта, с суммарной массовой долей менее чем 0,003%.

Преимущественно композиция данного изобретения может дополнительно содержать оксиды хрома и/или кобальта. Согласно предпочтительному варианту осуществления, если в композиции изобретения общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в массовых долях изменяется от 0,002 до 0,06%, композиция может дополнительно содержать оксиды хрома и/или кобальта до суммарного содержания в массовых долях от 0,001 до 0,025%. Это означает, что композиция может содержать только хром, только кобальт или оба из них. Такая особая композиция делает стекло особенно пригодным для сенсорной технологии, основанной на ИК передаче.

Преимущественно композиция может дополнительно содержать элемент или комбинацию элементов, позволяющие приблизиться или достичь нейтральных характеристик (координаты 0;0 в диаграмме a^*, b^*). Примерами таких элементов являются эрбий, эрбий-кобальт, селен-кобальт, как описано в патентной заявке № 15172778.1, или коллоидное золото.

Согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения листовое стекло покрыто по меньшей мере одним прозрачным и электропроводящим тонким слоем. Прозрачный и проводящий тонкий слой согласно настоящему изобретению может, например, представлять собой слой на основе $\text{SnO}_2\text{:F}$, $\text{SnO}_2\text{:Sb}$ или ИТО (оксид индия и олова), ZnO:Al или же ZnO:Ga .

Согласно другому преимущественному варианту осуществления настоящего изобретения листовое стекло покрыто по меньшей мере одним антиотражающим слоем. Данный вариант осуществления, очевидно, является преимущественным в случае применения листового стекла настоящего изобретения в качестве передней поверхности экрана. Антиотражающий слой в соответствии с настоящим изобретением может, например, представлять собой слой на основе пористого оксида кремния с низким показателем преломления или он может состоять из нескольких слоев (пакет), в частности пакет слоев диэлектрического материала с чередованием слоев с низкими и высокими показателями преломления и конечным слоем с низким показателем преломления.

В соответствии с другим вариантом осуществления листовое стекло покрывают по меньшей мере одним слоем против отпечатков пальцев или обрабатывают для снижения или предотвращения фиксирования отпечатков пальцев. Данный вариант осуществления также является преимущественным в случае применения листового стекла согласно настоящему изобретению в качестве передней поверхности сенсорного экрана. Такой слой или такая обработка могут быть объединены с прозрачным и электропроводящим тонким слоем, нанесенным на противоположную сторону. Такой слой можно объединять с антиотражающим слоем, нанесенным на ту же поверхность, при этом слой против отпечатков пальцев расположен на внешней стороне пакета и покрывает, таким образом, антиотражающий слой.

В соответствии с другим вариантом осуществления листовое стекло покрывают по меньшей мере одним слоем или обрабатывают для снижения или предотвращения блеска и/или сверкания. Данный вариант осуществления, само собой, является преимущественным в случае применения листового стекла настоящего изобретения в качестве передней поверхности отображающего устройства. Такая обработка против блеска или против сверкания, например, представляет собой кислотное травление с получением особой шероховатости обработанной поверхности листового стекла.

В соответствии с необходимыми областями применения и/или свойствами другие слои(слои)/обработки(обработка) могут быть нанесены/выполнены на одной и/или другой поверхности листового стекла настоящего изобретения.

Изобретение также относится к листовому стеклу согласно данному изобретению, подвергнутому химической закалке. Все ранее описанные варианты осуществления и предпочтительные интервалы содержания в композиции также применимы к изобретению химически закаленного листового стекла.

И, наконец, изобретение также относится к применению химически закаленного листового стекла согласно данному изобретению

- в электронных устройствах;
- в автомобильном остеклении;
- в авиационном остеклении (внутреннем/внешнем);
- в строительстве.

Далее варианты осуществления настоящего изобретения будут дополнительно описаны только в качестве примеров вместе с некоторыми сравнительными примерами, не находящимися в соответствии с настоящим изобретением. Следующие примеры представлены в целях иллюстрации и не предназначены для ограничения объема настоящего изобретения.

Примеры

Порошкообразные исходные материалы смешивали вместе и помещали в тигли для расплавления согласно композициям, приведенным в следующей табл.1. Смесь исходных материалов затем нагревали в электрической печи до температуры, обеспечивающей полное расплавление исходного материала.

Таблица 1

Вес. %	Сравнительный пр. 1 (SL)	Сравнительный пр. 2 (AS)	Сравнительный пр. 3 (AS)	Пр. 4 (изобретение)
SiO ₂	72	60,9	68	66,5
Al ₂ O ₃	1,3	12,8	4,4	5,8
CaO	7,9	0,1	3,7	0,9
MgO	4,5	6,7	7,7	9,5
Na ₂ O	13,9	12,2	14,9	15,7
K ₂ O	0	5,9	1,0	1,1
Fe ₂ O ₃	0,01	0,02	0	0,01
BaO	0	0,2	0	0
SO ₃	0,36	0	0,36	0,36
SrO	0	0,2	0	0
ZrO ₂	0	1,0	0	0

После расплавления и гомогенизации композиции стекло отливали в несколько маленьких образцов 40×40 мм и отжигали в печи для отжига. Затем образцы полировали до состояния поверхности, близкого к термополированному стеклу (зеркальная полировка). Для каждой композиции изготавливали несколько образцов. Композиция сравнительного примера 1 соответствует классическому известково-натриевому (SL) стеклу согласно уровню техники, композиция сравнительного примера 2 соответствует обычному алюмосиликатному (AS) стеклу, композиция сравнительного примера 3 соответствует другому алюмосиликатному стеклу, недавно поступившему в продажу, о котором объявлено, что оно имеет усовершенствованную композицию стекла для химического упрочнения (оно соответствует стеклу Glapova™, производимому компанией NSG-Pilkington Group). Композиция примера 4 соответствует композиции согласно данному изобретению.

Химическая закалка - классический цикл

Первую часть образцов, приготовленных в разделе выше, подвергали химической закалке одновременно и при одних и тех же условиях. Образцы разных композиций помещали в кассету, предварительно

нагревали (15 мин) и погружали в ванну расплавленного KNO_3 (>99%) при 420°C на 220 мин. После ионного обмена образцы охлаждали (15 мин) и промывали. Затем измеряли поверхностное напряжение сжатия (CS) и глубину ионообменного слоя (DoL) путем измерения фотоупругости. В табл.3 сведены средние значения CS и DoL для десяти случайных образцов композиции примера 4 согласно данному изобретению и композиции сравнительных примеров 1 -3.

Таблица 3

	Сравнительный пр. 1	Сравнительный пр. 2	Сравнительный пр. 3	Пр. 4 (изобретение)
Поверхностное напряжение сжатия (МПа)	846	884	888	928
Глубина ионообменного слоя (мкм)	7,1	36,1	11,4	15,4

Химическая закалка - влияние температуры и упрочнение

Оставшиеся образцы каждой композиции разделяли на 4 разных группы и подвергали химической закалке в четырех разных циклах по 220 мин при 400, 420, 440 и 460°C. Каждую группу образцов разных композиций помещали в кассету, предварительно нагревали (2 ч) и затем погружали в ванну расплавленного KNO_3 (>99,5%) на 220 мин при требуемой температуре. После ионного обмена образцы охлаждали (2 ч) и промывали. Затем измеряли поверхностное напряжение сжатия (CS) и глубину ионообменного слоя (DoL) путем измерения фотоупругости. В следующую таблицу сведены средние значения CS и DoL для каждой температуры обработки и для десяти случайных образцов композиции 4 согласно данному изобретению и композиции сравнительных примеров 1-3. В табл.4 ниже среднее упрочнение, $\sigma_{\text{упрочнения}}$ для каждого типа образца и обработки также рассчитывали (как описано выше) для теоретического дефекта размером 10 мкм. Результаты также показаны на чертеже.

Таблица 4

Температура обработки (°C)		400°C	420°C	440°C	460°C
Сравнительный пр. 1	CS	840	774	688	591
	DoL	5,9	8,1	11,0	14,8
	$\sigma_{\text{упрочнения}} - 10 \text{ мкм}$	0	0	288	337
Сравнительный пр. 2 AS	CS (МПа)	845	829	775	/
	DoL (мкм)	34,9	43,7	52,4	/
	$\sigma_{\text{упрочнения}} - 10 \text{ мкм}$	691	708	681	/
Сравнительный пр. 3	CS (МПа)	962	897	796	686
	DoL (мкм)	10,1	13,2	16,9	23,5
	$\sigma_{\text{упрочнения}} - 10 \text{ мкм}$	358	463	497	500
Пр. 4 (изобретение)	CS (МПа)	1009	949	843	705
	DoL (мм)	12,8	17,3	22,9	31,4
	$\sigma_{\text{упрочнения}} - 10 \text{ мкм}$	508	600	609	562

Эти результаты показывают, что сочетание среднего уровня содержания Al_2O_3 , очень низкого содержания CaO , достаточно высокого содержания MgO и K_2O позволяет значительно улучшить напряжение сжатия (достигнутые значения 700-1000 МПа), при этом сохраняя достаточную глубину ионообменного слоя (достигнутые значения ~12-32 мкм) и, таким образом, повышая упрочнение стекла, особенно до значений выше чем 500 или даже 600 МПа (достигнутые значения 500-610 МПа).

Кроме того, полученное значение DoL для композиции данного изобретения также подходит для "поштучного" процесса, используемого в производстве покровного стекла для отображающих устройств. Оно действительно выше чем 12 мкм для обработки при каждой температуре.

Помимо этого, сочетание CS и DoL, которого может достигнуть композиция согласно данному изобретению, хорошо подходит для "поштучного" типа процесса, поскольку они позволяют поддерживать напряжение в центре ($\text{CT} = (\text{CS} * \text{DoL}) / (\text{толщина стекла} - 2 * \text{DoL})$) ниже 25 МПа для стекла толщиной 0,7 мм и даже 0,55 мм, следовательно, это позволяет резать стекло после химической закалки.

Другие свойства

Следующие свойства были оценены на основе композиции стекла с использованием модели Fluegel (Glass Technol.: Europ. J. Glass Sci. Technol. A 48 (1): 13-30 (2007); и Journal of the American Ceramic Society 90 (8): 2622 (2007)) - для композиций примеров 1-4 согласно данному изобретению, а также для сравнительных примеров 1-2:

плотность расплава стекла оценивали при 1200 и 1400°C;
вязкость при "температуре плавления T2";
"температура рабочей точки T4";
температура расстеклования T0 ;
коэффициент теплового расширения (CET).

В общем случае

Температура плавления T2 предпочтительно не выше 1550°C, более предпочтительно не выше 1520°C, особенно предпочтительно не выше 1500°C.

Температура рабочей точки T4 предпочтительно не выше 1130°C, более предпочтительно не выше 1100°C, особенно предпочтительно не выше 1070°C.

Температура расстеклования T0 предпочтительно не выше T4, более предпочтительно не выше T4-20°C, особенно предпочтительно не выше T4-40°C.

Значение CET предпочтительно не выше 9,6 и более предпочтительно не выше 9,5.

	Сравнительный пр. 1	Сравнительный пр. 2	Сравнительный пр. 3	Пр. 4 (изобретение)
Плотность расплава стекла (1200°C)	2,37	2,32	2,36	2,35
Плотность расплава стекла (1400°C)	2,34	2,32	2,34	2,34
Температура плавления T2 (°C)	1463	1602	1486	1498
Температура рабочей точки T4 (°C)	1037	1124	1053	1061
Температура расстеклования T0 (°C)	994	951	994	1036
CET при 210°C (10 ⁻⁶ /K)	9,15	9,68	9,49	9,50

Композиции согласно настоящему изобретению пригодны для формования в процессе термополирования и при использовании уже существующего печного оборудования для производства известково-натриевого стекла благодаря тому, что

их температура плавления T2 ниже чем 1500°C и сравнима с классическим известково-натриевым стеклом (сравнительный пример 1) и недавно усовершенствованным алюмосиликатным стеклом (сравнительный пример 3) и значительно ниже по сравнению с обычным алюмосиликатным стеклом (сравнительный пример 2);

их температура рабочей точки T4 ниже чем 1100°C и ниже по сравнению с обычным алюмосиликатным стеклом (сравнительный пример 2) и сравнима с классическим известково-натриевым стеклом (сравнительный пример 1) и недавно усовершенствованным алюмосиликатным стеклом (сравнительный пример 3);

их температура расстеклования T0 удовлетворительна, поскольку она ниже их температуры рабочей точки T4;

их плотность стекла очень близка к известково-натриевому и алюмосиликатному стеклам (сравнительные примеры 1-3), тем самым позволяет избегать/ограничивать дефекты, возникающие в ходе изменения композиции (перехода).

Кроме того, композиции настоящего изобретения характеризуются коэффициентами теплового расширения (CET), которые достигают известным образом соответствующих значений для последующей химической закалки (ограничивая явление деформации при неравномерном охлаждении). Более конкретно, композиции согласно настоящему изобретению демонстрируют улучшенные (сниженные) значения CET, чем обычное алюмосиликатное стекло, и поэтому менее подвержены проблемам, связанным с неравномерным охлаждением.

И наконец, композиции согласно настоящему изобретению позволяют получить удовлетворитель-

ные результаты при освещении сульфатом в ходе из изготовления/плавления благодаря достаточной растворимости сульфата и подходящей вязкости при высоких температурах.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Листовое стекло, композиция стекла которого содержит следующие массовые доли компонентов в процентах в пересчете на общий вес стекла:

$60 \leq \text{SiO}_2 \leq 78\%$;
 $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$;
 $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 12\%$;
 $4,9 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 7,5\%$;
 $0,4 < \text{CaO} < 2\%$;
 $5 \leq \text{MgO} \leq 12\%$;
 $\text{ZrO}_2 < 0,1\%$.

2. Листовое стекло по п.1, отличающееся тем, что его композиция содержит массовую долю $0,6 \leq \text{CaO} \leq 1,2\%$.

3. Листовое стекло по любому из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что его композиция содержит массовую долю $5 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 6,5\%$.

4. Листовое стекло по предыдущему пункту, отличающееся тем, что его композиция содержит массовую долю $5,2 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 6,5\%$.

5. Листовое стекло по любому из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что его композиция содержит массовую долю $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 6\%$.

6. Листовое стекло по предыдущему пункту, отличающееся тем, что его композиция содержит массовую долю $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 3\%$.

7. Листовое стекло по любому из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что его композиция содержит массовую долю $7,5 \leq \text{MgO} \leq 11\%$.

8. Листовое стекло по любому из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в его композиции в массовых долях изменяется от 0,002 до 1,7%.

9. Листовое стекло по предыдущему пункту, отличающееся тем, что общее содержание железа (в пересчете на Fe_2O_3) в его композиции в массовых долях изменяется от 0,002 до 0,06%.

10. Листовое стекло по любому из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что композиция листового стекла удовлетворяет следующему соотношению: $0,7 \leq [\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{CaO})] < 1$.

11. Листовое стекло по любому из предыдущих пунктов, отличающееся тем, что композиция листового стекла удовлетворяет следующему соотношению: $0,05 \leq [\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] \leq 0,7$.

12. Листовое стекло согласно п.1, отличающееся тем, что его композиция содержит следующие массовые доли компонентов в процентах в пересчете на общий вес стекла:

$60 \leq \text{SiO}_2 \leq 78\%$;
 $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$;
 $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 6\%$;
 $4,9 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 7\%$;
 $0,4 < \text{CaO} \leq 1,5\%$;
 $6 \leq \text{MgO} \leq 12\%$.

13. Листовое стекло согласно предыдущему пункту, отличающееся тем, что его композиция содержит следующие массовые доли компонентов в процентах в пересчете на общий вес стекла:

$60 \leq \text{SiO}_2 \leq 78\%$;
 $5 \leq \text{Na}_2\text{O} \leq 20\%$;
 $0,9 < \text{K}_2\text{O} \leq 3\%$;
 $5 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 6,5\%$;
 $0,6 \leq \text{CaO} \leq 1,2\%$;
 $7,5 \leq \text{MgO} \leq 11\%$.

14. Листовое стекло согласно одному из пп.1-13, подвергнутое химической закалке.

15. Применение листового стекла согласно одному из пп.1-14 в электронном устройстве, автомобиле, авиационном остеклении или в строительстве.

