



(12) PATENT

(19) NO

(11) 336395

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

C03C 13/00 (2006.01)

C03C 13/06 (2006.01)

C03C 3/087 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20022155	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2001.09.05 PCT/US2001/27451
(22)	Inng.dag	2002.05.06	(85)	Videreføringsdag	2002.05.06
(24)	Løpedag	2001.09.05	(30)	Prioritet	2000.09.06, US, 230474
(41)	Alm.tilgj	2002.07.08			
(45)	Meddelt	2015.08.10			
(73)	Innehaver	PPG Industries Ohio Inc, 3800 West 143rd Street, US-OH44111 CLEVELAND, USA			
(72)	Oppfinner	Frederick T Wallenberger, 9814 Thre Degree Road, Allison Park, PA 15101, USA			
(74)	Fullmektig	Oslo Patentkontor AS, Postboks 7007 Majorstua, 0306 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	Glassfiberdannende sammensetninger
(56)	Anførte publikasjoner	US 5789329 A
(57)	Sammendrag	

En glassfibersammensetning har 52 til 62 prosent i vekt SiO_2 , 0 til 2 prosent i vekt Na_2O , 16 til 25 prosent i vekt CaO , 8 til 16 prosent i vekt Al_2O_3 , 0,05 til 0,80 prosent i vekt Fe_2O_3 , 0 til 2 prosent i vekt K_2O , 1 til 5 prosent i vekt MgO , 0 til 5 prosent i vekt B_2O_3 , 0 til 2 prosent i vekt TiO_2 , og 0 til 1 prosent i vekt F, og har videre en log 3 dannelsesstemperatur på ikke mer enn 1240°C basert på en NIST 714 referanse standard, en AT på minst 50°C , og et SiO_2/RO forhold på ikke mer enn 2,35.

Foreliggende oppfinnelse vedrører en glassfibersammensetning, og mer spesielt en glassfibersammensetning med senket likvidus- og dannelsesstemperaturer.

Den mest vanlige glassammensetning for å lage kontinuerlige glassfibertråder for tekstiler og glassfiber forsterkninger er "E" glass. Kravene for hvilken type av sammensetning som utgjør en E-glass sammensetning er inkludert i ASTM D578-98. En fordel med å anvende E-glass er at dets likvidustemperatur er godt under dets dannelsesstemperatur, dvs. typisk høyere enn 56°C (100°F) og vanligvis mellom 83 til 111°C (150 til 200°F). Som anvendt her betyr betegnelsene "dannelsesstemperatur", " T_{FORM} " og "log 3-dannelsesstemperatur" temperaturen av glasset ved hvilken viskositeten av glasset er log 3, eller 1000 poise, og betegnelsene "likvidustemperatur" og " T_{LIQ} " betyr temperaturen ved hvilken fast fase (krystaller) og flytende fase (smelte) er i likevekt. Forskjellen mellom T_{FORM} og T_{LIQ} , referert til heri som "delta T" eller " ΔT ", er et vanlig mål på krystalliseringspotensialet av en gitt smelte-sammensetning. I glassfiber produksjonsindustrien, er ΔT typisk beholdt ved en temperatur på minst 50°C (90°F) for å hindre avsintring av det smeltede glass under en glassfiber dannelsesoperasjon, og spesielt i dyseområdet.

Bor og fluor inneholdende glass ble utviklet for å møte disse driftsbetingelser. Mer spesifikt ble bor og fluor inkludert i glass batchmaterialer for å virke som flukser under glassets smelteoperasjon. Spesielt kan E-glass inkludere opptil 10 vekt% B_2O_3 og opptil 1,0 fluorid (se ASTM D 578-00 §4.2). Derimot blir disse materialer fordampet under smelting og bor- og fluoremisjoner frigis til atmosfæren. Ettersom bor og fluor er ansett som forurensende stoff kontrolleres disse emisjoner nøye av miljøforskrifter, som i sin tur krever nøye kontroll av ovnoperasjonene og anvendelsen av dyrt forurensningskontrollutstyr. Som svar på dette ble lavbor og/eller lavfluor E-glass utviklet. Som anvendt her betyr "lavbor" at glassammensetningen ikke har mer enn 5 vekt% bor, og inkluderer bor-frie glass, og "lavfluor" betyr at glassammensetning en ikke har mer enn 0,30 vekt% fluor, og inkluderer fluor-fritt glass.

For ytterligere informasjon vedrørende glassammensetninger og fremgangsmåter for å fiberisere glassammensetningen, se K. Loewenstein, The Manufacturing Technology of Continous Glass Fibres, (3d Ed. 1993) ved sider 30-44, 47-60, 115-122 og 126-135, og F. T. Wallenberger (editor), Advanced Inorganic Fibers: Processes, Structures, Properties, Applications, (2000) ved sider 81-102 og 129-168.

Nærmeste kjente teknikk er ansett å være US 5789329 A som angir borfrie glassammensetninger egnet for glassfibertekstiler og glassfiberforsterkninger, men hvor

foreliggende glassfibersammensetning skiller seg fra US 5789329 A ved at den inneholder 0,05 til 1,5 vekt% Li_2O .

Fordi selve glassfiberdannelsesoperasjonen utføres ved høye temperaturer er det et høyt energiforbruk assosiert med dens produksjon, sammen med assosierte høye energikostnader. I tillegg akselererer de høye temperaturene nedbrytningen av det ildfaste materiale anvendt i glass-smelteovnene, samt dysene anvendt for å danne fibrene. Dysene inkluderer edelmetaller som ikke kan gjenvinnes fra glasset etter- som dysene korroderer. Det ville være fordelaktig å produsere glassfiberen ved de lavest mulige dannelse- og likvidustemperaturene for å redusere energiforbruket og kostnader og termisk miljøbelastning (spillvarme) av det ildfaste materiale og dyser i ovnen, men samtidig tilveiebringe den nødvendige ΔT for å sikre en uforstyrret glassfiberdannelsesoperasjon. Å redusere dannelse- og likvidustemperaturer av glassammensetningene kan også resultere i miljøfordeler, slik som, men ikke begrenset til, en reduksjon i mengden av drivstoff nødvendig for å generere energien nødvendig for fiber dannelsesoperasjonen, samt en reduksjon i forbrennings- gasstemperaturen. I tillegg ville det være fordelaktig at glassammensetningene har lave fluor- og/eller lave borsammensetninger for å redusere eller eliminere miljø- forurensningene assosiert med disse materialer.

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en glassfibersammensetning omfattende:

SiO_2	53 til 59 vekt%;
Na_2O	0 til 2 vekt%;
CaO	16 til 25 vekt%;
Al_2O_3	8 til 16 vekt%;
Fe_2O_3	0,05 til 0,80 vekt%;
K_2O	0 til 2 vekt%;
MgO	1 til 5 vekt%;
Li_2O	0,05 til 1,5 vekt%;
TiO_2	0 til 2 vekt%; og
F	0 til 1 vekt%;

hvor glassammensetningen er i alt vesentlig bor-fri, har en log 3-dannelses- temperatur på ikke mer enn 1240°C basert på en NIST 714-referansestandard, en ΔT på minst 50°C , og et SiO_2/RO -forhold på ikke mer enn 2,35.

Den foregående oppsummering samt den følgende detaljerte beskrivelse av utførelser av foreliggende oppfinnelse vil bli bedre forstått når lest i sammenheng med de vedlagte tegninger. I tegningene:

Figurer 1-6 er kurver som viser sammenhengen mellom forholdet mellom SiO_2 og RO av forskjellige glassfiberdannelsessammensetninger til sammensetningenes dannelses- og likvidustemperaturer basert på data vist i tilsvarende Tabeller A til F.

Basissammensetning for lavbor-glassfibrene av foreliggende oppfinnelse egnet for tekstiler og glassfiberforsterkninger inkluderer de følgende hovedbestanddeler i vekt% basert på den totale vekt av slutt-glassammensetningen.

	<u>bredt område</u>	<u>alternativt område</u>
SiO_2 (vekt%)	53 til 59	53 til 58
Na_2O (vekt%)	0 til 2	opp til 1,5
CaO (vekt%)	16 til 25	20 til 25
Al_2O_3 (vekt%)	8 til 16	11 til 14
Fe_2O_3 (vekt %)	0,05 til 0,80	0,05 til 0,50
K_2O (vekt%)	0 til 2	opp til 1

Det bør forstås at, med mindre annet er indikert, er alle numeriske verdier omtalt her, slik som, men ikke begrenset til, vekt% av materialer eller temperaturer, tilnærmelser og er utsatt for variasjoner grunnet forskjellige faktorer som er velkjente for fagpersoner slik som, men ikke begrenset til, målestandarder, utstyr og teknikker. Som et resultat skal slike verdier forstås som modifiserte i alle tilfeller ved betegnelsen "omtrent". Henholdsvis, med mindre motsatt er indikert, er de numeriske parameterene fremsatt i den følgende patentbeskrivelse og vedlagte krav tilnærminger som kan variere avhengig av de ønskede egenskapene som søkes å oppnås ved foreliggende oppfinnelse. Hver numeriske parameter bør i det minste fortolkes i lys av antallet rapporterte signifikante siffer og ved å anvende vanlige avrundingsteknikker. For eksempel der det hevdes her at området for SiO_2 er 53 til 59 vekt%, er dette område omtrent 53 til omtrent 59 vekt%, og der det hevdes at log 3-dannelsesstemperaturen av en glassammensetning ikke er større enn 1240°C (2264°F), er temperaturen omtrent 1240°C .

Til tross for at de numeriske områder og parametere som fremsetter det brede omfang av oppfinnelsen er tilnærmelser, er de numeriske verdier fremsatt i de spesifikke eksemplene rapportert så nøyaktig som mulig. Enhver numerisk verdi

derimot, inneholder nedarvet visse feil som nødvendigvis stammer fra standardavviket i deres respektive testmålinger.

Ytterligere materialer kan tilsettes til glassammensetningen for å modifisere smelteegenskapene av glasset. For eksempel, og uten å begrense glassammensetningene som er beskrevet her, kan ZnO, MnO og/eller MnO₂, tilsettes til glassfibersammensetningen for å redusere T_{FORM} og/eller T_{LIQ}. Det er antatt at nivåer av disse materialer på mindre enn 0,05 vekt% bør ansees enten som streifmengder eller så lave at de ikke vil påvirke glassmelteegenskapene materielt. Som et resultat, i tillegg til 0,05 til 1,5 vekt% Li₂O, er i en utførelse 0,05 til 1,5 vekt% ZnO og/eller 0,05 til 3 vekt% MnO og/eller 0,05 til 3 vekt% MnO₂ inkludert i glassammensetningen. I en annen utførelse av oppfinnelsen inkluderer glassammensetningen, i tillegg til 0,2 til 1 vekt% Li₂O, 0,2 til 1 vekt% ZnO og/eller opptil 1 vekt% MnO og/eller opptil 1 vekt% MnO₂.

MgO er et annet materiale som typisk er inkludert i en glassfiberdannelse sammensetning. Det har blitt funnet at oppvarming- og smelteprofilen av en glassfibersammensetning, og spesielt likvidustemperaturen, kan kontrolleres og spesielt optimeres ved å kontrollere mengden av MgO. I tillegg har det blitt fastslått at et eutektisk punkt (minimum likvidustemperatur) eksisterer i et generisk kvarternært SiO₂-Al₂O₃-CaO-MgO ved omtrent 2,5 vekt% MgO (se PCT søknad nr. US 00/14155). Glassfibersammensetningen inkluderer i en utførelse 1 til 5 vekt% MgO, f.eks. 1 til 4 vekt% eller 1,7 til 2,9 vekt% eller 1,9 til 2,65 vekt% MgO.

Bor er et annet materiale som kan tilsettes til glassfibersammensetninger for å redusere T_{FORM} og T_{LIQ}. Derimot, som beskrevet tidligere, resulterer inkluderingen av bor i produksjonen av partikkelemisjoner som, avhengig av partikkelnivået, må kunne bli fjernet fra en smelteovnavløpsstrøm før den frigis til miljøet. I en utførelse av en glassfiberdannende sammensetning er den lave borholdige glassammensetning i alt vesentlig bor-fri, dvs. den inkluderer ikke mer enn en spormengde av B₂O₃, som her er ansett å være opptil 0,05 vekt% B₂O₃. I en annen utførelse inkluderer den lave borholdige glassfibersammensetningen ikke noe B₂O₃.

Det bør forstås at glassfibersammensetninger kan inkludere andre bestandeler og foreliggende oppfinnelse forutser inkluderingen av andre materialer i glassfibersammensetningene, slik som, men ikke begrenset til, 0 til 2 vekt% hver av TiO₂, BaO, ZrO₂ og SrO, f.eks. opptil 1,5 vekt% eller opptil 1 vekt% av hver av disse materialer.

I tillegg, på grunn av miljøhensynene beskrevet tidligere, har glassammensetningen i en utførelse av foreliggende oppfinnelse et lavt fluorinnhold. I en annen utførelse er glassammensetningen fluor-fri, dvs. den inkluderer ikke mer enn en spormengde av fluor, som er ansett her å være opptil 0,05 vekt% fluor. I enda en annen utførelse inkluderer glassammensetningen ikke noe fluor. Bortsett fra der noe annet er indikert er de glassfiberdannende sammensetninger meddelt og beskrevet her fluor-frie.

Det bør forstås at glassammensetningene som er meddelt her også kan inkludere små mengder av andre materialer, for eksempel smelte- og raffineringshjelpemidler, streifmaterialer eller urenheter. For eksempel, og uten å begrense foreliggende oppfinnelse, er smelte- og raffineringshjelpemidler, slik som SO_3 , nyttige under produksjon av glasset, men deres restmengder i glasset kan variere og ha minimal, dersom noen, materiell effekt på egenskapene av glassproduktet. I tillegg kan små mengder av additive beskrevet over gå inn i glassammensetningen som streifmaterialer eller urenheter inkludert i råmaterialene av hovedbestanddelene.

Kommersiell glassfiber av foreliggende oppfinnelse kan fremstilles på den konvensjonelle måten velkjent i teknikken, ved å blande råmaterialene anvendt for å levere de spesifikke oksidene som danner sammensetningen av fibrene. For eksempel anvendes typisk sand for SiO_2 , leire for Al_2O_3 , kalk eller kalksten for CaO , og dolomitt for MgO og noe av CaO . Som beskrevet tidligere kan glasset inkludere andre additiver som tilsettes for å modifisere glassegenskapene samt små mengder av smelte- og raffineringshjelpemidler, streifmaterialer eller urenheter.

Etter at ingrediensene er blandet i de riktige forhold for å tilveiebringe den ønskede vekt av hver bestanddel for det ønskede glass, smeltes batchen i en konvensjonell glassfibersmelteovn, og det resulterende smeltede glass sendes langs en konvensjonell forherder og inn i en glassfiberdannende dyse lokalisert langs bunnen av forherderen, som er velkjent for fagpersoner. Under glassmeltefasen oppvarmes glassbatchmaterialene typisk til en temperatur på minst 1400°C (2550°F). Det smeltede glass trekkes eller dras deretter gjennom en mengde av hull i bunnen av dysen. Strømmene av det smeltede glass reduseres for å danne fillamenter ved å samle en mengde av filamenter sammen for å danne en tråd og kveile tråden på en formetube montert på en roterbar krage av en kveilemaskin. Alternativt kan fiberformeapparatet for eksempel være en formeanordning for syntetiske tekstilfibre eller -tråder i hvilket fibre trekkes fra dyser, for eksempel en spinnevorte, hvori fibre trekkes gjennom hull i en plate, som er kjent for fagpersoner. Typiske spinne-

vorter og glassfiberformende arrangementer er vist i K. Loewenstein, The Manufacturing Technology of Continuous Glass Fibres, (Third Edition 1993) ved sider 85-107 og sider 115-135.

Flere serier av forskjellige typer av lavbor-glassfibersammensetninger ble laget for å undersøke visse forhold mellom mengden av valgte glassbestanddelene og de tilsvarende dannelses- og likvidustemperaturer for å identifisere glassammensetningene med en senket dannelsesstemperaturen og en ønsket ΔT . Under testing ble glassammensetningene for de forskjellige seriene av eksperimentelle prøver delt i de følgende hovedsammensetningskategorier og -underklasser:

Type I – høy T_{FORM} ($T_{\text{FORM}} > 1240^{\circ}\text{C}$), lavt borinnhold

Type I-1	bor-fri
Type I-2	opptil 2,5 vekt% B_2O_3

Type II - lav T_{FORM} ($T_{\text{FORM}} \leq 1240^{\circ}\text{C}$), lavt borinnhold, 2,5 vekt% MgO

Type II-1	bor-fri
Type II-2	opptil 5 vekt% B_2O_3

Type III - lav T_{FORM} ($T_{\text{FORM}} \leq 1240^{\circ}\text{C}$), lavt borinnhold, 2,5 vekt% MgO, litium og/eller sink

Type III-1	bor-fri med litium
Type III-2	bor-fri med litium og sink
Type III-3	bor-fri med sink
Type III-4	opptil 5 vekt% B_2O_3 med litium

Type I-1 glass ville inkludere glass ifølge teknikkens stand slik som de meddelt i eksempel 1 i FR patent 2,768,144 (heretter "Patent '144"), US patenter 4,542,106 og 5,789,329 (heretter hhv. "Patent '106" og "Patent '329"), og ADVANTEX® glass, som er kommersielt tilgjengelig fra Owens Corning Fiberglass, og typisk inkluderer omtrent 60 vekt% SiO_2 , 25 vekt% $\text{CaO} + \text{MgO}$ (heretter "RO"), og 12-14 vekt% Al_2O_3 og er bor-fri. Type I-2 glass ville inkludere glass ifølge teknikkens stand slik som det meddelt i eksempel 2 Patent '144, som inkluderer 1,8 vekt% B_2O_3 og 60,82 vekt% SiO_2 .

Tabeller A til F inkluderer eksempler av hver serie av glassfibersammensetninger og ble anvendt for å generere hhv. tilsvarende Figurer 1-6, som vil bli beskrevet senere i mer detalj. I Tabell A er eksempler 1-8 type II-1 glass mens eksempler 9-34 er

type I-1 glass. I Tabell B er eksempler 35-77 type II-2 glass mens eksempler 78-83 er type I-2 glass. I Tabell C er eksempler 84-143 og 152-156 type III-1 glass mens eksempler 144-151 er like men har en log 3-dannelsestemperatur høyere enn 1240°C. I Tabell D er eksempler 157-171 type III-2 glass mens eksempler 172-183 er like men har en log 3-dannelsestemperatur høyere enn 1240°C. I Tabell E er eksempler 194-197 type III-3 glass mens eksempler 184-193 er like men har en log 3-dannelsestemperatur høyere enn 1240°C. I Tabell F er eksempler 198-296 type III-4 glass mens eksempler 297 og 298 er like men har en log 3-dannelsestemperatur høyere enn 1240°C. Eksempler 84-93 og 157-166 er ifølge oppfinnelsen.

TABELL A – TYPE I-1 og II-1 GLASS

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	57.95	57.75	58.05	57.65	57.45	58.72	57.72	59.05	60.13	60.63
Al ₂ O ₃	13.20	13.20	13.40	13.40	13.40	11.65	11.64	12.20	12.27	12.27
CaO	24.05	24.25	23.75	24.15	24.35	24.58	25.58	23.95	22.92	22.42
MgO	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.61	2.61	2.55	2.50	2.50
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.12	1.12	1.10	1.00	1.00
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.92	0.92	0.90		0.98
K ₂ O						0.05	0.05			
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27	0.27	0.25	0.20	0.20
SO ₃						0.02	0.02			
SiO ₂ /RO	2.18	2.15	2.21	2.16	2.13	2.16	2.05	2.23	2.37	2.43
T _{FORM} (°C)	1235	1232	1240	1240	1238	1230	1222	1239	1265	1268
T _{LTO} (°C)	1164	1166	1167	1166	1165	1198	1215	1181	1164	1166
ΔT (°C)	71	66	73	74	74	32	7	58	101	102

TABELL A – TYPE I-1 og II-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	60.13	59.61	59.45	59.40	59.35	59.30	59.25	59.10	59.00	58.85
Al ₂ O ₃	12.27	12.16	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20	12.20
CaO	22.92	23.51	23.55	23.60	23.65	23.70	23.75	23.90	24.00	24.15
MgO	2.50	2.62	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
TiO ₂	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Na ₂ O	0.98	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
K ₂ O										
Fe ₂ O ₃	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
SO ₃										
SiO ₂ /RO	2.37	2.28	2.28	2.27	2.27	2.26	2.25	2.23	2.22	2.20
T _{FORM} (°C)	1262	1251	1258	1250	1242	1248	1249	1247	1245	1242
T _{LTO} (°C)	1164	1170	1173	1178	1176	1180	1178	1178	1178	1186
ΔT (°C)	98	81	85	72	66	68	71	69	67	56

TABELL A – TYPE I-1 og II-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
SiO ₂	59.25	59.15	58.35	58.15	58.25	57.85	57.65	58.15	57.95	57.75
Al ₂ O ₃	12.40	12.60	13.20	13.20	13.40	13.40	13.40	13.20	13.20	13.20
CaO	23.55	23.45	23.65	23.85	23.55	23.95	24.15	23.85	24.05	24.25
MgO	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
K ₂ O										
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
SO ₃										
SiO ₂ /RO	2.27	2.28	2.23	2.20	2.23	2.18	2.16	2.20	2.18	2.15
T _{FORM} (°C)	1253	1253	1248	1245	1244	1243	1242	1249	1246	1243
T _{LTO} (°C)	1171	1168	1162	1160	1174	1174	1169	1170	1171	1172
ΔT (°C)	82	85	86	85	70	69	73	79	75	71

TABELL A – TYPE I-1 og II-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler			
	31	32	33	34
SiO ₂	57.55	58.05	58.85	59.61
Al ₂ O ₃	13.20	13.40	13.40	12.16
CaO	24.45	23.75	23.95	23.51
MgO	2.55	2.55	2.55	2.62
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.00
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90
K ₂ O				
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.20
SO ₃				
SiO ₂ /RO	2.13	2.21	2.22	2.28
T _{FORM} (°C)	1241	1246	1248	1251
T _{LIQ} (°C)	1164	1163	1171	1167
ΔT (°C)	67	83	77	84

TABELL B – TYPE I-2 og II-2 GLASS

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
SiO ₂	57.75	57.75	56.75	57.15	57.25	58.55	55.40	55.80	56.20	55.75
Al ₂ O ₃	13.20	12.20	13.20	13.05	13.20	12.20	13.60	13.40	13.60	13.20
CaO	24.25	24.25	24.25	24.00	24.25	23.45	24.85	24.65	24.05	23.25
MgO	2.50	2.50	2.50	2.55	2.50	2.55	2.50	2.50	2.50	2.55
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50	1.10
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	3.00
SiO ₂ /RO	2.16	2.16	2.12	2.15	2.14	2.25	2.03	2.06	2.12	2.16
T _{FORM} (°C)	1240	1227	1228	1235	1239	1236	1217	1211	1219	1204
T _{LIQ} (°C)	1178	1164	1161	1154	1159	1159	1153	1156	1136	1127
ΔT (°C)	62	63	67	81	80	77	64	55	83	77

TABELL B – TYPE I-2 og II-2 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
SiO ₂	57.25	56.25	56.65	56.75	58.05	56.35	56.40	56.45	55.60	55.80
Al ₂ O ₃	12.20	13.20	13.05	13.20	12.20	13.60	13.60	13.55	13.60	13.60
CaO	23.75	23.75	23.50	23.25	22.95	23.85	23.80	23.80	24.65	24.45
MgO	2.50	2.50	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.50	2.50
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B ₂ O ₃	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
SiO ₂ /RO	2.18	2.14	2.17	2.20	2.28	2.13	2.14	2.14	2.05	2.07
T _{FORM} (°C)	1227	1224	1225	1225	1225	1218	1219	1220	1211	1209
T _{LTO} (°C)	1148	1149	1145	1147	1142	1138	1142	1137	1154	1156
ΔT (°C)	79	75	80	78	83	80	77	83	57	53

TABELL B – TYPE I-2 og II-2 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
SiO ₂	56.50	56.60	56.40	56.0	56.40	56.20	56.00	56.00	55.80	56.50
Al ₂ O ₃	13.55	13.40	13.40	13.60	13.60	13.80	13.80	13.60	13.60	13.20
CaO	23.85	23.85	24.05	24.25	23.85	23.85	24.05	24.25	24.45	23.50
MgO	2.55	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.55
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.10
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.9	0.90
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B ₂ O ₃	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
SiO ₂ /RO	2.14	2.15	2.12	2.09	2.14	2.13	2.11	2.09	2.07	2.16
T _{FORM} (°C)	1217	1222	1216	1213	1220	1223	1219	1202	1222	1220
T _{LTO} (°C)	1135	1139	1143	1136	1139	1158	1151	1137	1153	1133
ΔT (°C)	82	83	73	77	81	65	68	65	69	87

TABELL B – TYPE I-2 og II-2 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
SiO ₂	57.25	56.75	56.25	56.75	56.65	56.80	56.40	55.80	55.60	55.00
Al ₂ O ₃	13.20	13.20	13.20	13.45	13.05	13.40	13.80	13.80	13.40	13.80
CaO	22.75	23.75	23.75	23.00	23.50	23.65	23.65	24.25	24.85	25.05
MgO	2.50	2.05	2.55	2.55	2.55	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B ₂ O ₃	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
SiO ₂ /RO	2.27	2.20	2.14	2.22	2.17	2.17	2.16	2.09	2.03	2.00
T _{FORM} (°C)	1237	1230	1220	1227	1218	1228	1197	1222	1209	1206
T _{LTO} (°C)	1149	1141	1131	1131	1131	1141	1156	1137	1168	1169
ΔT (°C)	86	89	89	96	87	87	41	85	41	37

TABELL B – TYPE I-2 og II-2 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler								
	75	76	77	78	79	80	81	82	83
SiO ₂	56.75	56.15	56.25	58.61	59.01	58.70	57.75	59.05	59.11
Al ₂ O ₃	13.20	13.05	13.20	12.16	12.04	13.35	13.20	12.20	12.16
CaO	22.25	23.00	23.25	23.50	23.27	23.50	23.25	23.95	23.00
MgO	2.55	2.55	2.55	2.50	2.48	2.50	2.50	2.55	2.50
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.09	0.50	1.10	1.10	1.10
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.30	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.23	0.23	0.25	0.25	0.25	0.23
B ₂ O ₃	3.00	3.00	3.00	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00
SiO ₂ /RO	2.29	2.20	2.18	2.25	2.29	2.26	2.24	2.23	2.32
T _{FORM} (°C)	1221	1212	1214	1242	1252	1253	1250	1254	1248
T _{LTO} (°C)	1121	1178	1114	1161	1178	1145	1154	1183	1152
ΔT (°C)	100	34	100	81	74	108	96	71	96

TABELL C – TYPE III-1 GLASS

Sammen- setning Vekt %	Eksempler									
	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
SiO ₂	58.70	58.70	58.35	58.25	58.86	58.76	57.95	57.65	58.96	58.15
Al ₂ O ₃	13.35	13.35	13.20	13.40	13.44	13.64	13.20	13.40	13.24	13.20
CaO	23.50	23.50	23.65	23.55	23.55	23.45	24.05	24.15	23.65	23.85
MgO	2.50	2.50	2.55	2.55	2.50	2.50	2.55	2.55	2.50	2.55
TiO ₂	0.50	0.50	1.10	1.10	0.50	0.50	1.10	1.10	0.50	1.10
Na ₂ O	0.60	0.30								
Li ₂ O	0.60	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
SiO ₂ /RO	2.26	2.26	2.23	2.23	2.26	2.26	2.18	2.16	2.25	2.20
T _{FORM} (°C)	1226	1211	1211	1215	1216	1218	1205	1206	1212	1237
T _{LIQ} (°C)	1157	1153	1146	1153	1153	1150	1151	1154	1158	1172
ΔT (°C)	69	58	65	62	63	68	54	52	54	65

TABELL C – TYPE III-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
SiO ₂	59.61	59.97	60.09	60.21	60.33	59.61	59.61	59.73	59.85	59.97
Al ₂ O ₃	12.12	12.19	12.22	12.24	12.27	12.92	12.92	12.92	12.95	12.97
CaO	22.12	23.56	23.31	23.35	23.40	21.91	21.96	22.00	22.04	22.09
MgO	3.50	2.90	2.70	2.50	2.30	3.50	3.30	3.10	2.90	2.70
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Na ₂ O										
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
SiO ₂ /RO	2.33	2.27	2.31	2.33	2.35	2.35	2.36	2.38	2.40	2.42
T _{FORM} (°C)	1205	1207	1217	1213	1216	1213	1213	1214	1214	1219
T _{LIQ} (°C)	1190	1170	1163	1162	1166	1179	1170	1164	1161	1160
ΔT (°C)	15	37	54	51	50	34	43	50	53	59

TABELL C – TYPE III-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
SiO ₂	60.09	60.21	60.00	60.57	59.80	59.75	59.65	59.60	59.55	59.50
Al ₂ O ₃	13.00	13.02	12.50	13.10	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25	12.25
CaO	22.13	22.18	23.70	22.31	22.60	22.85	23.35	23.60	23.85	24.10
MgO	2.50	2.30	1.90	1.70	3.10	2.90	2.50	2.30	2.10	1.90
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Na ₂ O					0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25						
SiO ₂ /RO	2.44	2.46	2.34	2.52	2.33	2.32	2.31	2.30	2.29	2.29
T _{FORM} (°C)	1223	1233	1239	1239	1240	1236	1236	1238	1234	1234
T _{LTO} (°C)	1155	1142	1139	1141	1156	1156	1159	1167	1173	1181
ΔT (°C)	68	91	100	98	94	80	77	71	61	53

TABELL C – TYPE III-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123
SiO ₂	59.45	60.00	59.95	59.90	59.85	59.61	59.97	60.09	60.21	60.33
Al ₂ O ₃	12.25	12.40	12.40	12.40	12.0	12.12	12.19	12.22	12.24	12.27
CaO	24.35	22.05	23.30	23.55	23.80	22.12	22.25	22.30	22.34	22.39
MgO	1.70	2.30	2.10	1.90	1.70	3.50	2.90	2.70	2.50	2.30
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Na ₂ O	0.30									
Li ₂ O	0.60	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃		0.25	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
SiO ₂ /RO	2.28	2.46	2.36	2.35	2.35	2.33	2.38	2.40	2.42	2.44
T _{FORM} (°C)	1234	1230	1231	1224	1224	1215	1217	1213	1215	1231
T _{LTO} (°C)	1192	1146	1152	1156	1156	1181	1161	1178	1162	1160
ΔT (°C)	42	84	79	68	68	34	56	35	53	71

TABELL C – TYPE III-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133
SiO ₂	60.75	60.21	59.78	58.70	57.75	58.05	57.85	59.71	59.46	60.02
Al ₂ O ₃	12.35	13.02	12.30	13.35	13.20	13.40	13.40	13.24	13.24	12.35
CaO	22.55	22.52	23.26	23.50	24.25	23.75	23.95	22.90	23.15	23.35
MgO	1.70	2.50	2.53	2.50	2.55	2.55	2.55	2.50	2.50	2.54
TiO ₂	1.50	0.50	0.50	0.50	1.10	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50
Na ₂ O		0.00								
Li ₂ O	0.90	1.00	1.40	1.20	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.23
SiO ₂ /RO	2.51	2.41	2.32	2.26	2.15	2.21	2.18	2.35	2.32	2.32
T _{FORM} (°C)	1240	1231	1187	1194	1201	1202	1199	1227	1226	1209
T _{LTO} (°C)	1166	1143	1158	1149	1155	1153	1157	1142	1147	1159
ΔT (°C)	74	88	29	45	46	49	42	85	79	50

TABELL C – TYPE III-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
SiO ₂	59.90	60.26	60.14	59.16	60.10	60.23	60.10	60.23	59.78	60.14
Al ₂ O ₃	12.32	12.40	12.37	13.24	13.00	12.25	13.00	12.25	12.30	12.37
CaO	23.31	23.45	23.40	23.45	22.15	23.36	22.15	23.36	23.26	23.40
MgO	2.53	2.55	2.54	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.53	2.54
TiO ₂	0.50	0.51	0.51	0.50	1.10	0.51	1.10	0.51	0.50	0.51
Na ₂ O										
Li ₂ O	1.20	0.60	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.40	0.80
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.23	0.23
SiO ₂ /RO	2.32	2.32	2.32	2.28	2.44	2.33	2.44	2.33	2.32	2.32
T _{FORM} (°C)	1199	1230	1219	1218	1235	1220	1237	1224	1198	1219
T _{LTO} (°C)	1160	1158	1159	1156	1133	1160	1136	1158	1156	1159
ΔT (°C)	39	72	60	62	102	60	101	66	42	60

TABELL C – TYPE III-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler							
	144	145	146	147	148	149	150	151
SiO ₂	60.38	60.33	59.70	60.21	60.21	60.21	60.50	58.70
Al ₂ O ₃	12.42	13.05	12.25	13.02	13.02	13.02	12.45	13.35
CaO	23.50	22.22	22.85	22.52	22.52	22.52	23.54	23.50
MgO	2.55	2.10	2.70	2.50	2.50	2.50	2.56	2.50
TiO ₂	0.51	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
Na ₂ O			0.30	0.25	0.50	0.75		0.90
Li ₂ O	0.40	0.90	0.60	0.75	0.50	0.25	0.20	0.30
Fe ₂ O ₃	0.23	0.25		0.25	0.25	0.25	0.24	0.25
SiO ₂ /RO	2.32	2.48	2.34	2.41	2.41	2.41	2.32	2.26
T _{FORM} (°C)	1244	1258	1242	1242	1253	1263	1256	1241
T _{LTO} (°C)	1158	1136	1155	1147	1152	1160	1158	1165
ΔT (°C)	86	122	87	95	101	103	98	76

TABELL C – TYPE III-1 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler				
	152	153	154	155	156*
SiO ₂	60.05	60.05	60.05	59.30	59.30
Al ₂ O ₃	12.98	12.98	12.98	12.10	12.10
CaO	22.14	22.14	22.14	22.60	22.60
MgO	3.12	3.12	3.12	3.40	3.40
TiO ₂	0.55	0.55	0.55	1.50	1.50
Na ₂ O				0.45	
Li ₂ O	0.91	0.91	0.91	0.45	0.90
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20
SiO ₂ /RO	2.38	2.38	2.38	2.28	2.28
T _{FORM} (°C) (NIST 710A)	1214	1219	1223	1218	1191
T _{LTO} (°C)	1159	1164	1163	1179	1187
ΔT (°C)	55	55	60	39	4

* sammensetning inkludert 0,50 vekt% BaO

TABELL D – TYPE III-2 GLASS

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166
SiO ₂	58.25	58.30	58.20	58.10	58.00	58.15	58.15	58.10	57.35	57.95
Al ₂ O ₃	13.33	13.03	13.03	13.03	13.03	13.20	13.33	13.63	13.20	13.20
CaO	23.29	23.54	23.64	23.74	23.84	22.85	23.39	23.14	23.65	24.05
MgO	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.55	2.50	2.50	2.55	2.55
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.10	0.50	0.50	1.10	1.10
Na ₂ O										
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
ZnO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.25	0.23	0.23	0.25	0.25
SiO ₂ /RO	2.26	2.24	2.23	2.21	2.20	2.29	2.25	2.26	2.19	2.18
T _{FORM} (°C)	1213	1204	1205	1206	1208	1207	1208	1212	1195	1195
T _{LTO} (°C)	1146	1147	1148	1144	1149	1136	1152	1157	1141	1140
ΔT (°C)	67	57	57	62	59	71	56	55	54	55

TABELL D – TYPE III-2 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176
SiO ₂	59.61	59.47	59.12	57.75	58.00	59.73	59.85	59.97	60.09	60.21
Al ₂ O ₃	12.16	12.16	12.00	13.20	13.63	12.92	12.95	12.97	13.00	13.02
CaO	23.50	24.22	22.50	24.25	23.24	22.00	22.04	22.09	22.13	22.18
MgO	2.50	1.90	3.40	2.55	2.50	3.10	2.90	2.70	2.50	2.30
TiO ₂	1.10	1.10	1.00	1.10	0.50	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Na ₂ O										
Li ₂ O	0.45	0.45	0.90	0.90	0.90	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
ZnO	0.45	0.45	1.00	1.00	1.00	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Fe ₂ O ₃			0.20	0.25	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
SiO ₂ /RO	2.29	2.28	2.28	2.15	2.25	2.38	2.40	2.42	2.44	2.46
T _{FORM} (°C)	1229	1218	1190	1194	1212	1242	1246	1246	1251	1251
T _{LTO} (°C)	1154	1159	1163	1159	1163	1173	1168	1154	1147	1144
ΔT (°C)	75	59	27	35	49	69	78	92	104	107

TABELL D – TYPE III-2 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler						
	177	178	179	180	181	182	183
SiO ₂	60.33	60.45	60.57	59.40	59.20	59.54	59.40
Al ₂ O ₃	13.05	13.08	13.10	12.16	12.16	12.16	12.16
CaO	22.22	22.27	22.31	23.49	23.69	23.95	24.49
MgO	2.10	1.90	1.70	2.30	2.30	2.10	1.70
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Na ₂ O				0.40	0.40		
Li ₂ O	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
ZnO	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25				
SiO ₂ /RO	2.48	2.50	2.52	2.30	2.28	2.29	2.27
T _{FORM} (°C)	1260	1260	1263	1245	1247	1241	1245
T _{LTO} (°C)	1140	1139	1135	1159	1152	1155	1168
ΔT (°C)	120	121	128	86	95	86	77

TABELL E – TYPE III-3 GLASS

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193
SiO ₂	59.73	59.85	59.97	60.09	60.21	60.33	60.45	60.57	58.80	58.70
Al ₂ O ₃	12.92	12.95	12.97	13.00	13.02	13.05	13.08	13.10	13.00	11.90
CaO	22.00	22.04	22.09	22.13	22.18	22.22	22.27	22.31	23.45	22.40
MgO	3.10	2.90	2.70	2.50	2.30	2.10	1.90	1.70	2.50	3.40
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.50
ZnO	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00
Na ₂ O										0.90
K ₂ O										
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.20
SiO ₂ /RO	2.38	2.40	2.42	2.44	2.46	2.48	2.50	2.52	2.27	2.28
T _{FORM} (°C)	1265	1267	1273	1278	1273	1280	1285	1275	1268	1226
T _{LTO} (°C)	1170	1166	1159	1157	1166	1169	1170	1171	1165	1180
ΔT (°C)	95	101	114	121	107	111	115	104	103	46

TABELL E – TYPE III-3 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler			
	194	195	196	197
SiO ₂	59.00	58.70	58.19	59.00
Al ₂ O ₃	12.00	11.90	11.84	12.00
CaO	22.50	22.40	21.33	22.50
MgO	3.40	3.40	2.82	3.40
TiO ₂	1.00	1.00	1.86	1.50
ZnO	1.00	1.50	2.28	0.50
Na ₂ O	0.90	0.90	1.18	0.90
K ₂ O			0.16	
Fe ₂ O ₃	0.20	0.20	0.24	0.20
SiO ₂ /RO	2.28	2.28	2.24	2.28
T _{FORM} (°C) (NIST 710A)	1234	1231	1212	1230
T _{LIO} (°C)	1175	1181	1159	1183
ΔT (°C)	69	50	53	37

TABELL F – TYPE III-4 GLASS

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207
SiO ₂	58.00	57.90	57.80	58.15	58.25	58.00	58.10	58.30	58.20	58.10
Al ₂ O ₃	13.43	13.43	13.43	13.33	13.33	13.63	13.63	13.03	13.03	13.03
CaO	23.44	23.54	23.64	23.39	23.29	23.24	23.14	23.54	23.64	23.74
MgO	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Na ₂ O										
K ₂ O										
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
SiO ₂ /RO	2.24	2.22	2.21	2.25	2.26	2.25	2.27	2.24	2.23	2.21
T _{FORM} (°C)	1202	1203	1197	1203	1202	1207	1212	1200	1201	1194
T _{LIO} (°C)	1139	1137	1139	1136	1145	1144	1146	1132	1137	1135
ΔT (°C)	63	66	58	67	57	63	66	68	64	59

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	208*	209*	210*	211	212	213	214	215	216	217
SiO ₂	58.74	58.64	58.64	58.75	58.00	57.80	57.60	57.60	57.60	57.60
Al ₂ O ₃	13.05	13.15	12.95	12.93	13.03	13.23	13.23	13.23	13.23	13.03
CaO	22.97	22.97	22.87	22.93	23.84	23.84	23.84	23.84	23.84	24.04
MgO	2.36	2.36	2.36	2.36	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.20	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
Na ₂ O				0.04				0.10	0.20	0.20
K ₂ O	0.09	0.09	0.09	0.10						
Li ₂ O	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.70	0.70
Fe ₂ O ₃	0.29	0.29	0.29	0.29	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
SiO ₂ /RO	2.32	2.32	2.32	2.32	2.20	2.19	2.19	2.19	2.19	2.17
T _{FORM} (°C)	1210	1209	1204	1210	1198	1201	1200	1196	1208	1201
T _{LIO} (°C)	1145	1151	1142	1127	1138	1126	1125	1133	1135	1145
ΔT (°C)	65	58	62	83	60	75	75	63	73	56

* sammensetninger inkluderer 0,50 vekt% SrO og 0,08 vekt% SO₃

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227
SiO ₂	58.50	58.40	58.30	58.40	58.15	58.25	58.70	58.00	57.60	58.00
Al ₂ O ₃	12.76	12.76	13.03	13.03	13.33	13.33	12.75	13.03	13.03	13.03
CaO	23.61	23.71	23.54	23.44	23.39	23.29	23.50	23.84	24.04	23.84
MgO	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.20	1.00
Na ₂ O							0.60			
K ₂ O										
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.60	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.23	0.23	0.25	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23
SiO ₂ /RO	2.24	2.23	2.24	2.25	2.25	2.26	2.26	2.20	2.17	2.20
T _{FORM} (°C)	1202	1203	1201	1208	1197	1200	1216	1202	1194	1192
T _{LIO} (°C)	1141	1145	1138	1137	1130	1134	1160	1137	1142	1137
ΔT (°C)	61	58	63	71	67	66	56	65	52	55

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237
SiO ₂	58.61	58.61	58.00	57.90	58.11	58.40	58.40	58.50	58.60	58.00
Al ₂ O ₃	12.16	12.16	13.23	13.23	13.36	13.36	13.03	13.03	13.03	13.63
CaO	23.50	23.50	23.64	23.74	23.40	23.11	23.44	23.34	23.24	23.24
MgO	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Na ₂ O		0.45								
K ₂ O										
Li ₂ O	0.90	0.45	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
		0.23								
SiO ₂ /RO	2.25	2.25	2.22	2.21	2.24	2.28	2.25	2.26	2.28	2.25
T _{FORM} (°C)	1201	1227	1201	1195	1196	1204	1201	1204	1204	1206
T _{LIO} (°C)	1142	1159	1135	1137	1133	1133	1136	1133	1135	1136
ΔT (°C)	59	68	66	58	63	71	65	71	69	70

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247
SiO ₂	58.10	58.10	58.70	58.70	58.70	58.61	58.40	58.80	58.30	57.60
Al ₂ O ₃	13.23	13.43	12.75	12.35	12.35	12.16	12.76	12.46	13.03	13.03
CaO	23.54	23.34	23.50	23.50	23.50	23.50	23.71	23.61	23.54	24.04
MgO	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.10	0.50	0.50	0.50	0.50
B ₂ O ₃	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20
Na ₂ O			0.30	0.60	0.30					0.10
K ₂ O										
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.60	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.25	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
SiO ₂ /RO	2.23	2.25	2.26	2.26	2.26	2.25	2.23	2.25	2.24	2.17
T _{FORM} (°C)	1199	1204	1204	1207	1202	1194	1194	1195	1195	1196
T _{LIO} (°C)	1133	1134	1153	1157	1149	1141	1144	1145	1140	1145
ΔT (°C)	63	70	51	50	53	53	50	50	55	51

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257
SiO ₂	58.50	58.11	58.91	58.11	58.30	58.20	58.10	58.70	58.70	58.11
Al ₂ O ₃	12.76	13.36	12.16	13.36	13.03	13.03	13.03	13.35	13.35	13.36
CaO	23.61	23.40	23.80	23.40	23.54	23.64	23.74	23.50	23.50	23.40
MgO	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.60	1.00
Na ₂ O										
K ₂ O										
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.60	0.90
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.25	0.25	0.23
SiO ₂ /RO	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.23	2.21	2.26	2.26	2.24
T _{FORM} (°C)	1197	1229	1216	1213	1202	1202	1205	1207	1224	1212
T _{LIO} (°C)	1139	1155	1148	1142	1136	1136	1137	1144	1145	1135
ΔT (°C)	58	133	123	126	120	119	122	114	142	139

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267
SiO ₂	58.20	58.70	59.53	59.61	59.11	59.11	59.16	59.21	57.80	59.11
Al ₂ O ₃	13.23	12.35	12.25	12.16	12.16	12.16	12.16	12.16	13.03	12.16
CaO	23.44	23.50	23.17	23.50	23.00	23.00	23.20	23.40	24.04	23.50
MgO	2.50	2.50	2.52	2.50	2.50	2.50	2.25	2.00	2.50	2.00
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	0.50	1.10
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Na ₂ O										
K ₂ O										
Li ₂ O	0.90	1.20	0.80	0.45	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.23	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
SiO ₂ /RO	2.24	2.26	2.32	2.29	2.32	2.32	2.32	2.33	2.18	2.32
T _{FORM} (°C)	1204	1187	1214	1230	1205	1216	1218	1213	1196	1209
T _{LIO} (°C)	1135	1147	1143	1155	1142	1143	1147	1153	1147	1153
ΔT (°C)	124	40	71	75	63	73	71	60	49	56

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler									
	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277
SiO ₂	59.36	59.31	59.36	59.41	59.11	59.16	59.21	59.16	59.11	59.01
Al ₂ O ₃	12.41	12.56	12.51	12.46	12.16	12.16	12.16	12.26	12.26	12.36
CaO	23.60	23.50	23.50	23.50	23.00	23.20	23.40	23.45	23.50	23.50
MgO	2.00	2.00	2.00	2.00	2.50	2.25	2.00	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	1.10	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Na ₂ O										
K ₂ O										
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
SiO ₂ /RO	2.32	2.33	2.33	2.33	2.32	2.32	2.33	2.28	2.27	2.27
T _{FORM} (°C)	1216	1220	1220	1220	1216	1214	1220	1209	1210	1210
T _{LIO} (°C)	1153	1153	1158	1155	1144	1147	1158	1150	1152	1152
ΔT (°C)	63	67	62	65	72	67	62	59	58	58

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt %	Eksempler									
	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287
SiO ₂	58.91	58.91	59.21	58.31	58.61	58.70	58.60	58.50	58.75	58.75
Al ₂ O ₃	12.36	12.16	12.16	12.16	12.76	12.46	12.46	12.46	12.93	12.93
CaO	23.60	23.80	23.50	24.40	23.50	23.71	23.81	23.91	22.93	22.93
MgO	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.36	2.36
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
B ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20
Na ₂ O									0.14	0.24
K ₂ O									0.10	0.10
Li ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.70
Fe ₂ O ₃	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.29	0.29
SiO ₂ /RO	2.26	2.28	2.28	2.17	2.25	2.24	2.23	2.22	2.32	2.32
T _{FORM} (°C)	1196	1196	1201	1195	1183	1193	1192	1191	1211	1218
T _{LIO} (°C)	1152	1156	1143	1151	1165	1152	1151	1152	1127	1129
ΔT (°C)	44	40	58	44	18	41	41	39	84	89

TABELL F – TYPE III-4 GLASS (fortsettelse)

Sammen- setning vekt%	Eksempler										
	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298
SiO ₂	58.50	58.70	58.70	58.10	58.70	58.91	59.11	59.31	59.21	60.12	59.11
Al ₂ O ₃	12.34	13.05	12.75	13.63	13.35	12.16	12.16	12.26	12.26	13.00	12.16
CaO	23.70	23.50	23.50	23.14	23.50	23.80	23.50	22.30	23.40	21.13	23.00
MgO	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.00	2.50	2.50	2.50	2.50
TiO ₂	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.10	0.50	0.50	1.10	1.10
B ₂ O ₃	1.20	0.30	0.60	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Na ₂ O											0.45
K ₂ O	0.08										
Li ₂ O	0.90	.20	1.20	0.90	0.30	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.45
Fe ₂ O ₃	0.28	0.25	0.25	0.23	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.25	0.23
SiO ₂ /RO	2.23	2.26	2.26	2.27	2.26	2.24	2.32	2.39	2.29	2.54	2.32
T _{FORM} (°C)	1195	1196	1195	1204	1239	1197	1215	1209	1210	1285	1243
T _{LTO} (°C)	1151	1147	1147	1115	1143	1155	1155	1148	1156	1189	1149
ΔT (°C)	44	49	48	89	96	42	60	61	54	96	94

Prøvene var eksperimentelle prøver produsert i et laboratorium. De eksperimentelle prøvene ble fremstilt fra reagensgraderte oksider (f.eks. ren silika eller kalsium-oksidi). Batchstørrelsen for hvert eksempel var 1000 gram. De individuelle batch- ingredienser ble veid ut, kombinert og plassert i en stramt forseglede glassbeholder eller plastbeholder. Den forseglede beholder eller container ble deretter plassert i en malingrister i 15 minutter eller i en turbulensblander i 25 minutter for å effektivt blande ingrediensene. En del av batchen ble deretter plassert inn i en platina-smeltedigel, uten å fylle mer 3/4 av dets volum. Smeltedigelen ble deretter plassert i en ovn og oppvarmet til 1427°C (2600°F) i 15 minutter. Den gjenværende batch ble deretter tilsatt til den varme digelen og oppvarmet til 1427°C (2600°F) i 15 til 30 minutter. Ovnstemperaturen ble deretter hevet til 1482°C (2700°F) og holdt der i 2 timer. Det smeltede glass ble deretter frittet i vann og tørket. De frittete prøver ble smeltet igjen ved 1482°C (2700°F) og holdt der i 2 timer. Det smeltede glass ble deretter frittet igjen i vann og tørket. Dannelsesstemperaturen, dvs. glasstemperaturen ved en viskositet på 1000 poise, ble bestemt ved ASTM metode C965-81, og likvidustemperaturen ved ASTM metode C829-81.

Vekt% av bestanddelene av sammensetningene vist i Tabeller A til F er basert på vekt% av hver bestanddel i batchen. Det er antatt at batchvekt% vanligvis er omtrent den samme som vekt% av den smeltede prøve, bortsett fra glassbatch-materialer som fordampes under smelting, f.eks. bor og fluor. For bor er det antatt at vekt% av B₂O₃ i en laboratorieprøve vil være 5 til 15 vekt% mindre enn vekt%

av B_2O_3 i batchsammensetningen, det nøyaktige tap er avhengig av sammensetningen og smeltebetingelsene. For fluor er det antatt at vekt% av fluor i en laboratorietestprøve vil være omtrent 50 vekt% mindre enn vekt% av fluor i batchsammensetningen, det nøyaktige tap er avhengig av sammensetningen og smeltebetingelsene. Der er videre antatt at glassfibersammensetninger laget fra kommersiell kvalitet materialer og smeltet under konvensjonelle driftsbetingelser vil ha lignende batch og smeltevekt% som beskrevet over, med det nøyaktige tap avhengig, delvis av ovnsoperasjonstemperatur, gjennomstrømming og kvalitet av kommersielle batchmaterialer. Mengden av bor og fluor rapportert i tabellene tar i betraktning det forventede tap av disse materialer og representerer den forventede mengde av materialet i glasssammensetningen.

Bestemmelse av log 3-dannelsestemperaturen ble basert på glassprøvene som ble sammenlignet med fysiske standarder tilveiebragt av National Institute of Standards and Testing (NIST). I Tabeller A til F er den rapporterte log 3-dannelsestemperaturen basert på sammenligning med enten NIST 710A eller NIST 714, begge hvilke er en kalknatron-silika-glasstandard. Det er forventet at begge standarder vil tilveiebringe sammenlignbare resultater fordi begge er basert på en kalknatron-silika-standard. T_{LQ} er upåvirket av NIST-standarder. Med mindre annet er fastslått er log 3-dannelsestemperaturen rapportert her basert på NIST 714-referansestandarder.

I foreliggende oppfinnelse er sammensetningsvariabler av interesse vekt% SiO_2 og vekt% RO, og sammenhengen av interesse er forholdet mellom SiO_2 og RO, dvs. SiO_2/RO . Smelteegenskaper av interesse er dannelsestemperaturen og likvidustemperaturen ettersom et mål i foreliggende oppfinnelse er å tilveiebringe en lavbor-glasssammensetning med en senket dannelsestemperatur og en ønsket ΔT slik at sammensetningen kan behandles ved en lavere temperatur mens det reduserer muligheten for avsintring av det smeltede glass i dyseområdet under en glassfiber-dannelsesoperasjon. I en utførelse har glasssammensetningen en ΔT på minst $50^\circ C$ ($90^\circ F$), f.eks. minst $55^\circ C$ ($100^\circ F$). I andre utførelser har glasssammensetningen en ΔT på 50 til $100^\circ C$ (90 til $180^\circ F$), eller 50 til $83^\circ C$ (90 til $150^\circ F$), eller 50 til $72^\circ C$ (90 til $130^\circ F$).

Med referanse til figurer 1 til 6 er sammenhengen mellom SiO_2/RO -forholdet plottet mot både dannelsestemperaturen og likvidustemperaturen av prøven. De mest egnede trendlinjer for temperaturene er basert på en 2. ordens regresjonsanalyseprotokoll, og spesielt er 2. ordens polynomiale kurver generert anvendende Micro-

soft® Excel 97 SR-2(f). Ved inferens viser begge trendlinjer også den resulterende forandring av ΔT mellom likvidus- og dannelsesstemperaturene.

Ved å se på Figurer 1 til 6 kan det sees at ettersom SiO_2/RO -forholdet synker, synker dannelsesstemperaturen generelt, mens trenden i likvidustemperaturen avviker avhengig av glasstypen. I tillegg kan det sees at ettersom SiO_2/RO -forholdet synker, synker også ΔT . Som et resultat kan SiO_2/RO -forholdet anvendes for å redusere dannelsesstemperaturen av en glassfiberdannende sammensetning mens den tilveiebringer en ønsket ΔT . Mer spesielt er i foreliggende oppfinnelse der ΔT er minst 50°C , en sammensetning med en ΔT på 50°C indikerende på en sammensetning med en kombinasjon av materialer og mengder som tilveiebringer en minimum tillatt dannelsesstemperatur, dvs. den laveste dannelsesstemperaturen for den spesielle kombinasjon av bestanddeler som fortsatt beholder det ønskede område mellom dannelses- og likvidustemperaturer. Fra dette kan det konkluderes at desto smalere ΔT -området er, jo nærmere er glassets dannelsesstemperatur i å ha den minimale tillatte dannelsesstemperaturen for den spesielle kombinasjon av bestanddeler. Det kan også konkluderes at desto lenger ΔT av en glassammensetning er fra den minimale tillatte ΔT , jo større er muligheten for å modifisere glassammensetningen på en måte som reduserer T_{FORM} mens det holdes en ΔT ikke lavere enn den minimale tillatte ΔT . I denne ende kan SiO_2/RO -forholdet manipuleres ved å forandre mengden av SiO_2 og/eller RO for å produsere en glassammensetning med en ΔT så nær som mulig den minimale ønskede ΔT . Det bør forstås at dersom SiO_2/RO -forholdet faller for lavt, kan ΔT falle til et uakseptabelt nivå. I en utførelse av foreliggende oppfinnelse er SiO_2/RO ikke større enn 2,35. I andre utførelser er SiO_2/RO ikke mer enn 2,30, eller ikke mer enn 2,25, eller ikke mer enn 2,20. I enda en annen utførelse av oppfinnelsen er SiO_2/RO -områder fra 1,9 til 2,3, f.eks. 2,05 til 2,29.

Selv om Tabeller A til F og tilsvarende Figurer 1 til 6 illustrerer hvordan forholdet mellom vekt% av SiO_2 og RO påvirker smelteegenskapene av glasset, og spesielt likvidustemperaturen, dannelsesstemperaturen og ΔT , er ytterligere glassprøvesammensetninger samt ytterligere forhold mellom glassbestanddelene, slik som for eksempel forskjellen i mengde av SiO_2 og RO (dvs. SiO_2 vekt% - RO vekt%), vekt% av Al_2O_3 , forholdet mellom SiO_2 og Al_2O_3 , og forholdet mellom RO og Al_2O_3 , ettersom de står i forbindelse med likvidus- og dannelsesstemperaturene og ΔT , meddelt i US provisorisk søknad nr. 60/230474.

Det er kjent at ren silika er den høyest smeltende glassdanner. En ren silikasmelte har ikke et veldefinert smeltepunkt, men stivner gradvis og danner et glass ettersom det kjølnes til romtemperatur, og dets viskositet faller fra mer enn log 4 (10,000) poise ved 2500°C (1371°F). Rene kalsiumoksid-, magnesiumoksid- og aluminiumoksidsmelter er kjent for å ha meget lave viskositeter på 0,5-2 poise ved deres respektive smeltepunkter. Disse materialer stivner ikke til et glass men krystalliseres heller øyeblikkelig ved deres skarpt definerte smeltepunkt. I en typisk kvartenær SiO₂-Al₂O₃-CaO-MgO-glassammensetning med 60 vekt% SiO₂ og 21 vekt% CaO, bidrar hvert oksid med dets unike karakteristikk mot dets balanse av smelteegenskaper.

Basert på disse materialeegenskaper kan det konkluderes at ettersom SiO₂, som er den største oksidkomponent av glassammensetningen i form av vekt%, reduseres i en gitt sammensetning av denne type, faller smelteviskositeten og den resulterende log 3-dannelsestemperaturen. Dersom CaO, som er den nest største komponent av glassammensetningen i form av vekt%, økes i en slik sammensetning, vil effekten av RO (CaO+MgO) på glassets egenskaper bli doblet. Mer spesifikt vil det ikke bare øke fluiditeten av den resulterende smelte (dvs. senkning i viskositet) men det vil også øke krystalliseringsvevnen av den resulterende smelte (dvs. øke dens likvidustemperatur), og derfor redusere ΔT.

Som et resultat, selv om ikke nødvendig, i en utførelse av foreliggende oppfinnelse, har glassammensetningen (1) det laveste SiO₂-innhold som vil gi de laveste log 3-dannelsestemperaturer, i kombinasjon med (2) forholdet mellom SiO₂ og RO (RO=CaO+MgO) som gir den prosess-nødvendige ΔT, som i foreliggende oppfinnelse er minst 50°C.

Basert på det ovennevnte holdes i en utførelse av foreliggende oppfinnelse silikainivået lavt, dvs. ikke mer enn 59 vekt% SiO₂, for å promotere en lavere log 3-dannelsestemperatur. I andre utførelser av foreliggende oppfinnelse har glassammensetningene ikke mer enn 58 vekt% SiO₂, eller ikke mer enn 57 vekt% SiO₂.

Tabell G oppsummerer trekk av valgte lavbor-glassammensetninger meddelt i Tabeller A til F som har (i) en T_{FORM} på ikke mer enn 1240°C (2264°F), (ii) en ΔT i området 50-83°C (90-150°F) og (iii) ikke mer enn 59 vekt% SiO₂. Det har blitt funnet at en dannelsesstemperatur på mer enn 1240°C kan akselerere edelmetalltapet i glassfiberdannende dyser. I andre utførelser av foreliggende oppfinnelse er dannel-

sestemperaturen ikke mer enn 1230°C, eller ikke mer enn 1220°C, eller ikke mer enn 1210°C, eller ikke mer enn 1200°C.

For sammenligningsformål inkluderer Tabell G også like trekk av valgte type I-1 og I-2 glass, to kommersielle borholdige E-glassammensetninger, og to kommersielle ADVANTEX-glassammensetninger. Det er anført at ingen av disse spesifikke eksempler møter utvelgelseskriteriene for glassene av foreliggende oppfinnelse presentert i Tabell G.

TABELL G

Sammensetning	%SiO ₂	SiO ₂ /RO	T _{FORM} (°C)	T _{LIQ} (°C)	ΔT (°C)
kommersielt glass 1 ¹ (5.1 vekt% B ₂ O ₃)	55.2	2.31	1207	1069	138
kommersielt glass 2 ¹ (6.1 vekt% B ₂ O ₃)	53.1	2.32	1172	1077	95
Type I-1 glass (no bor)					
fra Patent '106	59	2.27	1249 ²	1149	100
fra Patent '144 – Ex. 1	60.18	2.46	1255 ²	1180	75
fra Patent '329	59.05-60.08	2.18-2.43	1248-1289 ²	1169-1219	56-96
kommersielt ADVANTEX glass prøve 1 ³	59.36	2.26	1268	1180	88
kommersielt ADVANTEX glass prøve 2 ³	60.17	2.28	1266	1189	77
Type I-2 glass					
fra Patent '144 – Ex. 2 (1.8 vekt% B ₂ O ₃)	60.82	2.53	1262 ²	1180	82
Utvelgelseskriterier	≤ 59		≤ 1240		50-83
Type II-1 (uten bor)	57.45-58.05	2.13-2.21	1232-1240	1164-1167	66-74
Type II-2 (w/ B ₂ O ₃)	55.4-58.55	2.03-2.28	1202-1240	1127-1178	55-83
Type III-1 (uten bor)	57.65-58.96	2.16-2.26	1205-1237	1146-1172	52-69
Type III-2 (uten bor)	57.35-58.30	2.18-2.29	1195-1213	1136-1157	54-71
Type III-3 (uten bor)	58.19-59.00	2.24-2.28	1212-1234	1159-1181	50-69
Type III-4 (w/ B ₂ O ₃)	57.60-58.80	2.17-2.32	1192-1227	1125-1160	50-83

¹ produsert av PPG Industries, Inc., Pittsburgh, PA.

² glasstandard ukjent

³ prøve analysert anvendende røntgenfluorescensanalyse

Med referanse til Tabell G kan det sees at de valgte bor-frie type II-1, III-1, III-2 og III-3 glassene generelt har mindre SiO₂, et lavere SiO₂/RO-forhold, en lavere dannelsesstemperatur, og et smalere ΔT-område enn prøvene av bor-frie type I-1 glassene. Likeledes har de valgte borholdige type II-2 og III-4 glassene generelt mindre SiO₂, et lavere SiO₂/RO-forhold, en lavere dannelsesstemperatur, og et smalere ΔT-område enn prøven av borholdig type I-2 glassene. Videre har de valgte type II og III glassene generelt et høyere SiO₂-innhold, et lavere SiO₂/RO-forhold, og et smalere ΔT-område enn de to kommersielle, høye borholdige prøvene.

Tabeller H, I, J og K illustrerer ytterligere glassammensetninger.

TABELL H

Sammen- setning Vekt%	Eksempler										
	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309
SiO ₂	56.25	56.45	56.75	56.50	56.75	57.5	56.75	57.75	57.75	57.75	55.40
Al ₂ O ₃	13.2	13.20	13.20	13.20	13.20	12.2	13.2	12.2	12.2	12.2	13.6
CaO	24.25	24.25	23.95	24.00	23.75	24	23.95	23.75	23.75	23.95	24.5
MgO	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.95
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Na ₂ O	0.9	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.45
K ₂ O											0.45
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B ₂ O ₃	1.30	1.30	1.30	1.30	1.40	1.30	1.20	1.40	1.30	1.40	1.30
SiO ₂ /RO	2.10	2.11	2.14	2.13	2.16	2.17	2.14	2.20	2.20	2.18	2.02
T _{FORM} (°C)	1210	1214	1215	1215	1215	1216	1216	1217	1217	1218	1210
T _{LIQ} (°C)	1154	1159	1154	1154	1160	1152	1147	1151	1147	1155	1157
ΔT (°C)	56	55	61	61	55	64	69	66	70	63	53

TABELL H (fortsettelse)

Sammen- setning Vekt%	Eksempler										
	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320
SiO ₂	55.40	56.05	55.85	56.00	56.60	56.50	56.10	56.50	55.95	56.50	56.45
Al ₂ O ₃	13.60	13.10	13.38	13.37	13.25	13.45	13.38	13.45	13.95	13.49	13.48
CaO	24.50	24.55	24.67	24.53	24.60	24.50	24.42	24.50	24.55	24.46	24.52
MgO	2.95	2.75	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	1.10	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Na ₂ O	0.45	0.45	0.45	0.45	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
K ₂ O	0.45	0.45	0.45	0.45							
Fe ₂ O ₃	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B ₂ O ₃	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
SiO ₂ /RO	2.02	2.05	2.05	2.07	2.09	2.09	2.08	2.09	2.07	2.09	2.09
T _{FORM} (°C)	1211	1218	1220	1221	1211	1212	1215	1215	1216	1218	1219
T _{LIQ} (°C)	1151	1156	1148	1157	1153	1158	1150	1157	1162	1161	1158
ΔT (°C)	60	62	72	64	58	54	65	58	54	57	61

TABELL I

Sammen- setning Vekt %	Eksempler											
	312	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332
SiO ₂	55.50	55.25	55.00	55.75	55.50	55.25	54.20	54.50	54.12	55.00	54.50	54.70
Al ₂ O ₃	13.20	13.20	13.20	13.30	13.30	13.30	13.35	13.25	13.30	13.25	13.25	13.20
CaO	23.50	23.75	24.00	23.70	23.95	24.20	24.55	24.55	24.55	24.25	24.55	24.50
MgO	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	3.00	2.55	2.67	2.55
TiO ₂	1.10	1.10	1.10	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Na ₂ O	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
K ₂ O							0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
B ₂ O ₃	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Fe ₂ O ₃	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
F							0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10
SrO							0.12	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12
SiO ₂ /RO	2.13	2.10	2.07	2.12	2.09	2.07	1.99	2.01	1.96	2.05	2.00	2.02
T _{FORM} (°C)	1193	1198	1201	1201	1200	1198	1190	1194	1196	1197	1201	1201
T _{LIQ} (°C)	1129	1122	1127	1127	1129	1128	1120	1124	1132	1124	1131	1119
ΔT (°C)	64	76	74	74	71	70	70	70	64	73	70	82

TABELL J

Sammen- setning Vekt%	Eksempler			
	333	334	335	336
SiO ₂	53.05	53.50	53.00	53.00
Al ₂ O ₃	14.01	14.00	13.50	13.10
CaO	24.28	24.00	24.00	24.00
MgO	1.00	1.50	2.50	2.90
TiO ₂	0.52	0.50	0.50	0.50
Na ₂ O	0.53	0.90	0.90	0.90
Fe ₂ O ₃	0.91	0.10	0.10	0.10
B ₂ O ₃	5.10	4.94	4.93	5.02
K ₂ O	0.10	0.37	0.37	0.37
F	0.52	0.50	0.50	0.50
SrO	0.13	0.13	0.13	0.13
Cr ₂ O ₃		0.13	0.13	0.13
SiO ₂ /RO	2.01	2.10	2.00	1.97
T _{FORM} (°C)	1171	1177	1172	1167
T _{LIO} (°C)	1114	1122	1103	1110
ΔT (°C)	57	57	69	57

TABELL K

Sammen- setning Vekt%	Eksempler		
	337	338	339
SiO ₂	54.60	56.75	57.85
Al ₂ O ₃	13.35	13.20	12.45
CaO	24.55	23.95	24.05
MgO	2.55	2.55	2.55
TiO ₂	0.35	1.10	0.55
Na ₂ O	0.15	0.60	0.60
Fe ₂ O ₃	0.28	0.25	0.35
B ₂ O ₃	3.00	1.40	1.30
K ₂ O	0.55		
F	0.20		
SrO	0.12		
Li ₂ O	0.30	0.30	0.30
SiO ₂ /RO	2.19	2.27	2.35
T _{FORM} (°C)	1187	1206	1208
T _{LIO} (°C)	1133	1152	1154
ΔT (°C)	54	54	54

Mer spesielt er sammensetningene i Tabell H type II-2 glassammensetninger, dvs. lavt borinnhold glass med 1,2 til 1,4 vekt% B₂O₃, som har et lavt SiO₂-innhold varierende fra 55,4 til 57,75 vekt%, et SiO₂/RO-forhold varierende fra 2,02 til 2,20, en dannelsesstemperatur varierende fra 1210 til 1221°C og en ΔT varierende fra 54 til 72°C. Tabell I-sammensetninger er også lave bor type II-2-sammensetninger som inkluderer 3 vekt% B₂O₃. Disse sammensetninger har et lavt SiO₂-innhold varierende fra 54,12 til 55,75 vekt%, et SiO₂/RO-forhold varierende fra 1,96 til 2,13, en dannelsesstemperatur varierende fra 1193 til 1201°C og en ΔT varierende fra 64 til 82°C. Tabell J inkluderer ytterligere type II-2-sammensetninger med en B₂O₃ på omtrent 5 vekt%. Av spesiell notis for sammensetningene i Tabell J er de lave SiO₂-innhold (53,00 til 53,50 vekt%), SiO₂/RO-forhold (1,97 til 2,10), dannelsesstemperaturene (1167 til 1177°C), og ΔT-området (57 til 69°C). Tabell K inkluderer type III-4 sammensetninger som har et lavt SiO₂-innhold varierende fra 54,60 til 57,85 vekt%, et SiO₂/RO-forhold varierende fra 2,19 til 2,35, en dannelsesstemperatur varierende fra 1187 til 1208°C og en ΔT på 54°C.

Ved å se på tabellene og figurene bør det forstås at mange av prøvesammensetningene, selv om de har en ΔT større den minimum nødvendige ΔT for en spesiell prosess, har de også en høyere dannelsesstemperatur enn det av sammensetningene av foreliggende oppfinnelse grunnet, delvis, deres høye silikanivåer og/eller

høye SiO₂/RO-forhold. Som et resultat er slike sammensetninger dyrere å produsere kommersielt, i det minste i form av energikostnader. Slike sammensetninger inkluderer type I sammensetninger beskrevet her. I tillegg inneholder tabellene og figurene mange prøver inneholdende en ΔT mindre enn den minimum ønskede ΔT på 50°C (90°F). Disse typer sammensetninger kan finnes over sammensetnings-spekteret i hver figur, men ved spesielt lave silika- og SiO₂/RO-nivåer. På grunn av det smalere ΔT -området øker risikoen for at det smeltede glass stivner i dyseområdet under en glassfiberdannelsesoperasjon til et uakseptabelt nivå.

Patentkrav

1. Glassfibersammensetning omfattende:

SiO ₂	53 til 59 vekt%;
Na ₂ O	0 til 2 vekt%;
CaO	16 til 25 vekt%;
Al ₂ O ₃	8 til 16 vekt%;
Fe ₂ O ₃	0,05 til 0,80 vekt%;
K ₂ O	0 til 2 vekt%;
MgO	1 til 5 vekt%;
Li ₂ O	0,05 til 1,5 vekt%;
TiO ₂	0 til 2 vekt%; og
F	0 til 1 vekt%;

hvori glassammensetningen er i alt vesentlig bor-fri, har en log 3-dannelses-temperatur på ikke mer enn 1240°C basert på en NIST 714-referansestandard, en ΔT på minst 50°C, og et SiO₂/RO-forhold på ikke mer enn 2,35.

2. Glassfibersammensetningen ifølge krav 1, hvori ΔT er i området fra 50 til 83°C, og SiO₂/RO-forholdet er i området fra 1,9 til 2,3.

3. Glassfibersammensetningen ifølge krav 2, hvori SiO₂-innholdet er ikke mer enn 58 vekt%.

4. Glassfibersammensetningen ifølge ethvert av de foregående krav, hvori MgO-innholdet er 1 til 4 vekt%.

5. Glassfibersammensetningen ifølge ethvert av de foregående krav, hvori SiO₂/RO-forholdet er ikke mer enn 2,30 eller er i områdene fra 1,9 til 2,30.

6. Glassfibersammensetningen ifølge ethvert av de foregående krav, hvori ΔT er i området fra 50°C til 100°C.

7. Glassfibersammensetningen ifølge ethvert av de foregående krav, hvori log 3-dannelses-temperaturen er på ikke mer enn 1230°C basert på en NIST 714-referansestandard.

8. Glassfibersammensetningen ifølge ethvert av de foregående krav, hvori glassammensetningen videre inkluderer minst ett materiale valgt fra:

ZnO	0,05 til 1,5 vekt%;
MnO	0,05 til 3 vekt%; og
MnO ₂	0,05 til 3 vekt%.

9. Glassfibersammensetningen ifølge ethvert av de foregående krav, hvori glassammensetningen er fluor-fri.