بسم الله الرحمن الرحيم

شیشه‌های اپتیکی

مترجمین:

سید علیرضا رسولی

فرشاد زمهریری نژاد

رضا سدیان

۱۴۰۰

سرشناسه	:	هارتمان، پتر Hartmann, Peter, (Optical engineer)
عنوان و نام پدیدآور	:	شیشه‌های اپتیکی/پیتر هارتمن ؛ مترجمین سیدعلیرضا رسولی، فرشاد زمهریری‌نژاد، رضا سدیان.
مشخصات نشر	:	تهران: موسسه آموزشی تالیفی ارشدان، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	۲۲۰ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۰۸-۱۴۶۹-۶
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی:.Optical glass, 2014
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	شیشه‌های اپتیکی
موضوع	:	Optical glass
شناسه افزوده	:	رسولی، سیدعلیرضا، ۱۳۷۷-، مترجم
شناسه افزوده	:	زمهریری‌نژاد، فرشاد، ۱۳۷۵-، مترجم
شناسه افزوده	:	سدیان، رضا، ۱۳۷۷-، مترجم
رده بندی کنگره	:	QC۳۷۵
رده بندی دیویی	:	۶۶۶/۱۵۶
شماره کتابشناسی ملی	:	۸۴۹۶۴۵۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان

■ نام کتاب: **شیشه‌های اپتیکی**

■ مترجمین: **سیدعلیرضا رسولی- فرشاد زمهریری‌نژاد- رضا سدیان**

■ ناشر: آموزشی تألیفی ارشدان

■ ویرایش: اول

■ نوبت چاپ: اول ۱۴۰۰

■ حروفچینی و صفحه آرایی: www.irantypist.com

■ طراح و گرافیست:

■ شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۰۸-۱۴۶۹-۶

■ شمارگان: ۱۰۰۰

■ مرکز خرید آنلاین: www.arshadan.com
www.arshadan.net

■ مرکز پخش و توزیع: ۰۲۱۴۷۶۲۵۵

■ قیمت: تومان

پیشگفتار ناشر:

به نام ایزد دانا که آغاز و انجام از آن اوست

هرگز دل من ز علم محروم نشد کم ماند ز اسرار که مفهوم نشد
اکنون که به چشم عقل در می نگرم معلومم شد که هیچ معلوم نشد

ای دانای بی‌همتا، ای بخشنده‌ایی که ناخواسته عطا فرمایی و هر نیازمندی را به عدالت بی‌نیاز گردانی، مگر اینکه نالایق باشد و آن عنایت را به باژگونه از دست دهد. در عرصه پیشرفت تکنولوژی در هزاره سوم، هنوز نیاز بر مطالعه کتاب در کنار استفاده از منابع کامپیوتری و اینترنت احساس می‌شود. از این بابت خوشحالیم که می‌توانیم در جهت اعتلای علم، دانش و فرهنگ کشور قدمی هر چند کوچک برداریم.

و من الله التوفیق

دکتر شمس الدین یوسفیان

مدیر مسئول انتشارات ارشدان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: شیشه نوری: اهمیت و تعاریف ۱۳

۱-۱. کلید فعال‌سازی مواد ۱۵

۱-۲. تاریخچه شیشه نوری ۱۸

۱-۳. خواص عمومی شیشه ۲۲

۱-۴. شیشه نوری: تعریف ۲۴

۱-۵. انواع شیشه اپتیک: نمونه کارها ۲۶

۱-۶. انواع شیشه نوری: قابلیت دسترسی ۳۰

۱-۷. انواع شیشه‌های نوری برگزیده ۳۲

فصل دوم: تولید شیشه‌های نوری ۳۵

۲-۱. ذوب ۳۷

۲-۲. پختن ۴۱

۲-۳. پرس گرم ۴۸

۲-۴. دقت ریخته‌گری ۵۰

فصل سوم: ضریب شکست و پراکندگی ۵۵

۳-۱. قانون شکست اسنل ۵۷

۳-۲. پراکندگی: عدد آبه (شاخص پراکندگی) ۵۷

۳-۳. طول‌موج معین نور ۵۹

۳-۴. پراکندگی نسبی ۶۰

۳-۵. فرمول‌های پراکندگی ۶۶

۳-۶. راهنمای دگرگونی دامنه‌ی تغییرات ضریب شکست ۷۰

۳-۷. تلورانس عدد آبه ۷۱
۳-۸. اثرات تاب‌کاری بر روی ضریب شکست و پراکنش نور ۷۱
۳-۹. تأثیر تاب‌کاری بر انواع مختلفی از شیشه‌ها ۷۷
۳-۱۰. برنامه زمانی تاب‌کاری ۸۲
۳-۱۱. اندازه‌گیری ضریب شکست: گونیای جناقی ۸۳
۳-۱۲. گواهینامه تست استاندارد: گونیای جناقی ۸۵
۳-۱۳. تست گواهینامه برای محموله سفارشی ۸۶
۳-۱۴. اندازه‌گیری ضریب شکست: بلور جهت‌یاب ۸۸
۳-۱۵. کیفیت تطبیقی داده‌های سلمیر ۹۱
۳-۱۶. گواهینامه‌ی تست: زاویه‌یاب بلوری ۹۲
۳-۱۷. ضریب شکست: تأثیر دما ۹۴
۳-۱۸. اندازه‌گیری ضریب دما در فرآیند تغییر بازتولید و گداخت ۹۸
۳-۱۹. عامل مشترک دما برای ضریب شکست ۱۰۱
۳-۲۰. ضریب دما-نوری ۱۱۰
فصل چهارم: همگنی ۱۱۵
۴-۱. استریا و همگن نوری در مقابل استریا ۱۱۷
۴-۲. همگنی نوری: تحمل ۱۱۸
۴-۲-۱. جبهه موج و اندازه‌گیری موج ۱۱۹
۴-۳. همگنی نوری: اندازه‌گیری وسایل شیشه‌ای ۱۲۱
۴-۴. شکست نویدر اقلام شیشه‌ای ۱۲۳
۴-۵. یکپارچگی نوری انواع شیشه ۱۳۰
۴-۶. استریا ظاهری ۱۳۲
۴-۷. اندازه‌گیری استریا: روش سایه گرا ۱۳۳

۴-۸. مشخصات استریا ۱۳۴
۴-۹. دوگانگی رنج استرس: همگن بودن شاخص انکسار در نور پلاریزه ۱۳۶
۴-۱۰. استرس - ضریب نوری ۱۳۷
۴-۱۱. استرس: محدود کردن مقادیر برای برنامه‌های نمونه ۱۳۹
۴-۱۲. دوگانگی استرس: اثر اندازه ۱۴۰
۴-۱۳. دوگانگی فشاری استرس گذرا ۱۴۲
۴-۱۴. اندازه‌گیری ارزیابی ۱۴۴
۴-۱۵. حباب و سایر موارد شامل ۱۴۶
۴-۱۶. حباب و انواع حباب: بازرسی ۱۴۷
۴-۱۷. حباب و انواع آن: مشخصات ۱۴۸
فصل پنجم: عبور ۱۵۱
۵-۱. انتقال داخلی ۱۵۳
۵-۲. اندازه‌گیری انتقال داخلی ۱۵۴
۵-۳. در کل انتقال داخلی شیشه نوری ۱۵۵
۵-۴. انتقال داخلی: کد رنگی ۱۵۹
۵-۵. تحریم‌های انتقال داخلی و بالا ۱۶۰
۵-۶. فلوئورسانس ۱۶۴
۵-۷. تابش خورشید ۱۶۵
۵-۸. از دست رفتن انتقال یونیزاسیون-اشعه یونیزاسیون: تابش ۱۶۷
۵-۹. استفاده از شیشه نوری در محدوده‌های طول‌موج UV و IR ۱۶۹
فصل ششم: مقاومت شیمیایی ۱۷۱
۶-۱. نکات عمومی در مورد مقاومت شیمیایی عینک‌های اپتیکی ۱۷۳
۶-۲. مقاومت شیمیایی: اندازه‌گیری و طبقه‌بندی ۱۷۴

۶-۳. مقاومت شیمیایی انواع شیشه‌های اپتیک: نمودارهای تجربی ۱۷۵

فصل هفتم: ویژگی‌های مکانیکی ۱۷۹

۷-۱. چگالی ۱۸۱

۷-۲. انعطاف‌پذیری: مدول یانگ ۱۸۲

۷-۳. سختی نوپ ۱۸۳

۷-۴. خردایش‌پذیری ۱۸۵

۷-۵. استحکام خمش ۱۸۷

۷-۶. خواص مکانیکی انواع شیشه‌های نوری انتخابی ۱۸۹

فصل هشتم: خواص حرارتی ۱۹۱

۸-۱. گران‌روی ۱۹۳

۸-۲. انبساط حرارتی ۱۹۴

۸-۳. دما تبدیل ۱۹۶

۸-۴. رسانایی حرارتی و ظرفیت حرارتی ۱۹۷

۸-۵. تنش القایی حرارتی ۱۹۸

۸-۶. ویژگی‌های حرارتی انواع شیشه‌های انتخابی ۱۹۹

فصل نهم: خواص محیطی ۲۰۱

فصل دهم: مشخصات عناصر نوری: پیشنهادها برای خواص شیشه نوری و ساخت عناصر نوری ۲۰۷

۱۰-۱. لنزهای نازک و کوچک (قطر کمتر از ۳۰ میلی‌متر و ضخامت کمتر از ۵ میلی‌متر) ۲۱۰

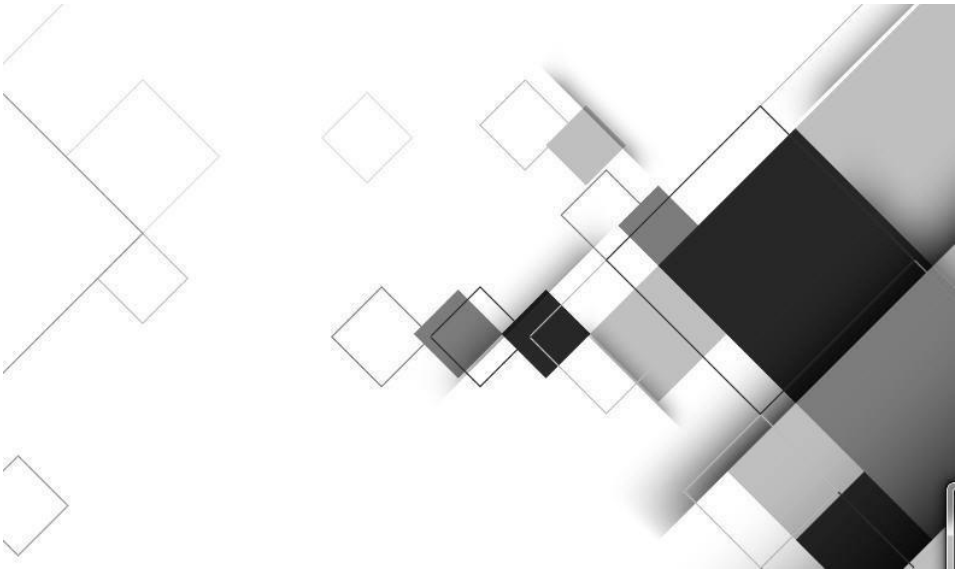
۱۰-۲. لنزها و منشورهای اندازه متوسط (قطر یا حداکثر طول لبه از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۵ تا ۲۰ میلی‌متر) ۲۱۰

۱۰-۳. لنزها و منشورهای بزرگ (قطر یا حداکثر طول لبه بزرگ‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر و ضخامت بیشتر از ۲۰ میلی‌متر) ۲۱۱

فصل یازدهم: مواد نوری دیگر ۲۱۵

۱۱-۱. الزامات عمومی در مورد مواد برای المان نوری..... ۲۱۷
۱۱-۲. سایر مواد مورداستفاده برای المان‌های نوری..... ۲۱۷

فصل اول

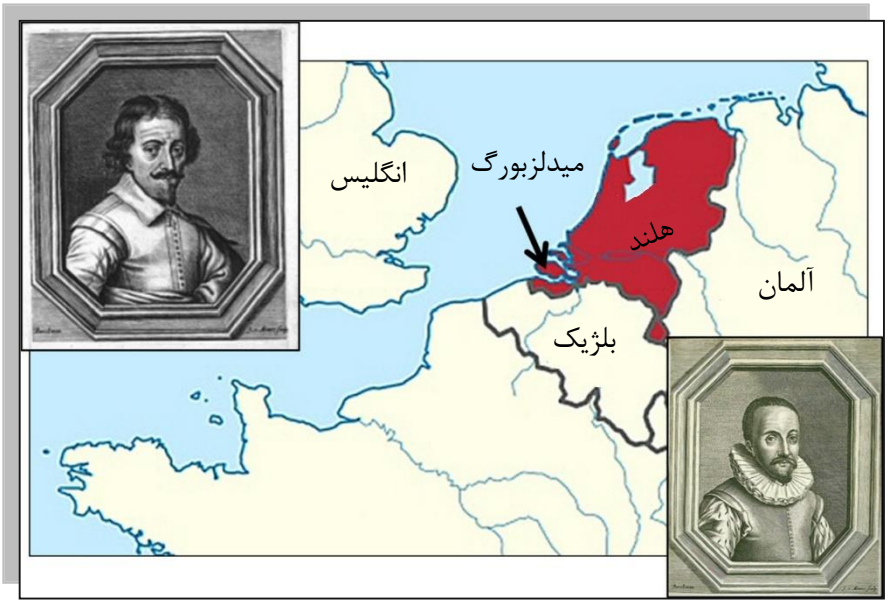


شیشه نوری: اهمیت و تعاریف

۱-۱. کلید فعال‌سازی مواد

شیشه نوری یک ماده بسیار مهمی در توسعه تکنولوژی و درنتیجه تاریخ بشر می‌باشد. ابتدا اجازه دسترسی به میکرو و میکروسکوپ را می‌دهد، زمانی که حدود ۴۰۰ سال پیش میکروسکوپ و تلسکوپ تقریباً در همان زمان و مکان در شهر میلتبلور در هلند اختراع شد (شکل ۱-۱). اگرچه لنزهای شیشه‌ای قبل از این زمان شناخته‌شده بودند، تنها ترکیب دو یا چند لنز که ابزارهای نوری را تشکیل می‌دادند، می‌تواند بزرگنمایی را تااندازه‌ای افزایش دهد که دنیای جدید برای دید و مطالعه انسان باز شود. مخترع میکروسکوپ و تلسکوپ (هانس لیپراشای، راست) (زکریا جانسن، سمت چپ) (شکل ۱-۱).

تقریباً در همان زمان (تقریباً ۱۶۰۰) و محل (در میدلبرگ هلند) یکی از مهم‌ترین نقاط عطف در توسعه تکنولوژی است (با مجوز از ویکی‌پدیا).



شکل ۱-۱.

شیشه تنها مواد حجیم بود که قادر به تغییر جهت پرتوهای نور بدون آسیب رساندن به آن‌ها با جذب یا پراکندگی آن‌ها بود که می‌توانست در حجم زیادی با هزینه نسبتاً پایین تولید شود.

این ویژگی هنوز اساس طیف وسیعی از سیستم‌های نوری است که امروزه مورداستفاده قرار می‌گیرد، نه‌تنها برای تصویربرداری، بلکه برای مدیریت نور به‌طورکلی. میکروسکوپ‌های امروزی ابزارهای بسیار پیچیده‌ای با مکانیک دقیق برجسته، کنترل کامپیوتر و کمک نرم‌افزار هستند؛ اما بدون شیشه درون آن‌ها، آن‌ها بی‌ارزش هستند.

کاملاً بدیهی است که استفاده از شیشه نوری در محصولات مصرفی مانند دوربین عکاسی، دوربین‌های فیلم‌برداری و دوربین‌های دوچشمی است. عموم مردم نیز با برنامه‌های دوربین‌های فیلم‌برداری و پروژکتور آشنا هستند. این واقعیت بسیار کمتر شناخته‌شده است که سیستم‌های نوری کاربرد گسترده‌ای در محصولات تولیدی در صنایع تولیدی در کشورهای مختلف دارند که پیش‌شرط ضروری در هر تولید می‌باشد.

صنعت خودرو با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری کامپیوتری کنترل‌شده عددی سه‌بعدی (CNC 3D) که به نظر می‌رسد مکانیکی کار می‌کند، استفاده می‌شود بااین‌حال، یک نگاه دقیق‌تر نشان می‌دهد که این دستگاه‌ها با استفاده از لنزهای کوچک با مقیاس شیشه‌ای سرامیک کار می‌کنند. دستگاه‌های همراه سه‌بعدی را مستقیماً در کارگاه ارائه می‌کنند. در صنعت حمل‌ونقل هوایی و کشتی‌سازی، عناصر بسیار بزرگ باید دقیقاً مناسب یکدیگر باشند. این نیز با ماشین‌های اندازه‌گیری سه‌بعدی، به‌اصطلاح ردیاب لیزری به دست می‌آید.

به‌طورکلی در صنعت، اغلب ماشین‌های بزرگ باید دقیقاً تراز باشند؛ این با سیستم‌های نوری قابل‌دستیابی است. محصولات با کیفیت سیستم‌های لنز نوری تلسکوپیک کنترل می‌شوند.

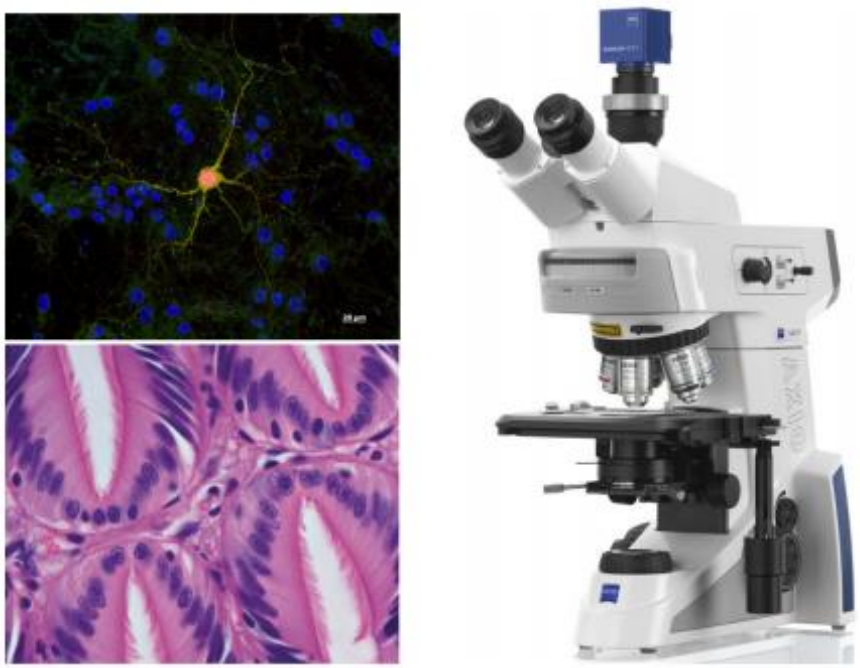
امروزه سیستم‌های بینایی ماشین در همه‌جا حاضر هستند، دوربین تئودولیت برای مهندسی عمران مورداستفاده قرار می‌گیرند. نقشه‌برداری زمین با استفاده از سیستم‌های مبتنی بر زمینی، هواپیما و سیستم‌های نوری فضایی، نرم‌افزاری که ۲۰۰ سال پیش به توسعه اپتیک‌ها منجر شد، شیشه نوری اهمیت استراتژیک بالایی در کاربردهای نظامی دارد. بهترین و سلاح‌های دقیق بدون استفاده از ابزار دقیق هدف‌گیری بی‌فایده است. زیردریایی‌ها به پریسکوپ با کارایی بالا با عناصر نوری بزرگ بالاترین کیفیت نیاز دارند.

در سال ۱۹۱۷، هنگامی‌که ایالات‌متحده وارد جنگ جهانی اول شد، آن‌ها از عرضه شیشه آلمان تحریم شدند و در عرض شش ماه تولید انواع شیشه نوری را اختراع کردند. پیشرفت در فن‌آوری اطلاعات بدون شیشه نوری قابل‌تصور نیست که مواد پیشگام برای انتقال الگوها بر

روی تراشه‌های سیلیکونی از طریق تصویربرداری نوری است. میکروبیولوژی پیشرفت عظیم خود را به میکروسکوپی مدیون است (شکل ۱-۲). پزشکی از سیستم‌های نوری برای تحقیق، تشخیص و درمان استفاده می‌کند.

بخش بزرگی از طول ۲۰ ساله طول عمر انسان بین سال‌های ۱۸۸۰ تا ۱۹۵۰ به خاطر مبارزه با بیماری‌های عفونی است که در آن میکروسکوپ‌های با وضوح‌بالا، نقش تعیین‌کننده‌ای را ایفا می‌کنند.

طیف‌سنجی‌های نوری ابزار کلیدی برای ساخت مکانیک کوانتومی و تلسکوپ در توسعه نظریه نسبیت عام بودند.



شکل ۱-۲. میکروسکوپ‌های (راست) دید انسانی را برای دنیای میکرو بازکرده‌اند (بالا چپ: نورون، پایین چپ: بافت کبد) و ابزارهای بسیار ضروری برای بسیاری از زمینه‌های علمی و فن‌آوری هستند.

سیستم‌های اپتیکی که از شیشه‌های اپتیکی بسیار پیچیده استفاده می‌کنند، سیستم‌های فعال کلیدی در سرتاسر همه تکنولوژی هستند. زمانی در تاریخ بوده است که پیشرفت فنی عمومی به تأخیر افتاد یا حتی از آن جلوگیری کرد زیرا شیشه‌های اپتیکی مناسب در دسترس نبود.

در اکثر برنامه‌های کاربردی، آیتم‌های شیشه‌ای به‌طور مستقیم قابل‌مشاهده نیستند؛ و حتی اگر چنین باشد، آن‌ها به‌عنوان مواد فن‌آوری پیشرفته پذیرفته‌شده و به‌طور مداوم تولیدکننده‌های خود را به چالش کشیده‌اند.

۱-۲. تاریخچه شیشه نوری

شیشه‌یکی از قدیمی‌ترین مواد ساخته دست انسان است. در بیشتر موارد بیش از ۵۰۰۰ سال، تنها برای اهداف تزیینی به‌عنوان گلدان، جام‌ها و ظروف نوشیدنی به کار می‌رفت. استفاده از آن به‌عنوان یک ماده نوری با توسعه عینکش در حدود ۷۰۰ سال پیش شروع شد.

اولین نقطه عطف در راه رسیدن به کیفیت امروز در حدود سال ۱۴۵۰ بود، زمانی که آنجلو بارووِیج، یک سازنده شیشه ونیزی از شیشه تزئینی، شیشه سفید شفافی ایجاد کرد. تا ۱۵۰ سال بعد آن شیشه سفید در اولین ابزار نوری مورداستفاده قرار گرفت: تلسکوپ توسط هانس لیپراسگی و میکروسکوپ توسط هانس جانسن.

طولی نکشید که مشخص شد که پیشرفت بیشتر فراتر از بزرگنمایی حدود ۱۰ توسط انحراف رنگی محدودشده است. تنها یک رنگ می‌تواند متمرکز شود، درحالی‌که بقیه محوشده بودند. به نظر می‌رسد وابستگی شاخص شکست به طول‌موج به‌عنوان علت این شیشه‌ها اثر یکسان باشد.

حدوداً در سال ۱۶۷۰، ایساک نیوتن شروع به استفاده از تلسکوپ‌های آینه کرد زیرا معتقد بود هیچ‌یک از شیشه‌ها با پراکندگی انحرافی برای جبران انحراف رنگ مناسب نیستند.

درست در همین زمان، جرج ساسین، صاحب کارخانه شیشه‌سازی انگلیسی، موفق به تولید شیشه ضد چینی با پراکندگی رنگی شد که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از شیشه لیموناد یا پتاس که به آن اشاره داشت متفاوت است. این شیشه برای لنزهای اپتیک نه اما برای گلدان‌ها و جام‌ها استفاده‌شده است مدت زیادی نگذشته بود که چستر مور هال، یک حقوقدان انگلیسی و منجم، برای اولین بار لنز تاج گل آهک سدیم و یک شیشه قرمز سیلیکات سرب را برای ایجاد یک لنز دوتایی آکروماتیک با آبراهه رنگی بسیار کم‌ترکیب کرد.

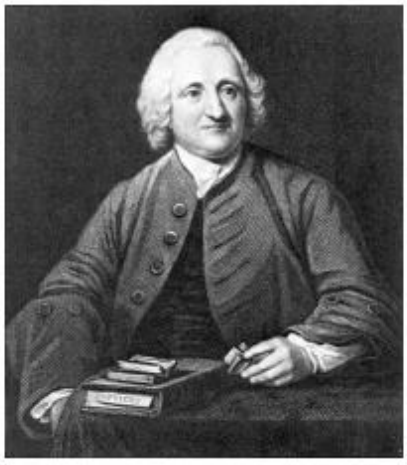
برخلاف هال، کسی که می‌خواست این اختراع را به‌صورت راز دور نگه دارد، حدود ۱۷۶۰ جان دولند (شکل ۳-۱) اولین تلسکوپ اصلاح‌شده رنگی را به بازار عرضه کرد. شرکت او بیش از

۵۰ سال از این فن‌آوری استفاده کرده است. بااین‌حال، سیستم‌های نوری او، به‌طور مداوم از کیفیت ضعیف و بسیار متفاوت شیشه‌ای رنج می‌برد. بیشترین پیشرفت در اپتیک در باواریا در اوایل سده نوزدهم رخ داد.

سرزمین‌های تازه به‌دست‌آمده به‌عنوان متحدان ناپلئون، ساختن نقشه دقیق زمین به‌عنوان مبنای مالیات، ضروری بود.

به‌منظور تأمین ابزارهای نوری موردنیاز، جوزف فون کریش، یک کارآفرین باواریایی که در دولت ایالتی مشغول به کار بود، جوزف فون فرانهوفر را استخدام نمود. گیناند همگن شیشه‌ای را با تکان دادن ذوب‌ها بهبود داده است. فرانهوفر نیز فرآیند ذوب شیشه را با قطر بزرگ‌تر از cm^2 توسعه داد.

او اولین کسی بود که از دستورالعمل‌های خوب تعریف‌شده و برای اندازه‌گیری ضریب شکست و پراکندگی شیشه‌ها در طول‌موج‌های خوب تعریف‌شده استفاده کرد. تلسکوپ‌های او بزرگ‌ترین و باکیفیت‌ترین تلسکوپ‌های زمان خود بودند.



شکل ۱-۳. جان دیولند لنزهای آکرومایتی را برای استفاده گسترده معرفی کرد. ناهنجاری‌های رنگی با استفاده از دو نوع شیشه با ویژگی‌های پراکندگی متفاوت تصحیح شد (با مجوز از ویکی‌پدیا).

شکل ۱-۴. جوزف فون فرانهوفر (همراه با پی. گیناند) در تولید شیشه با معرفی دستورالعمل‌های مواد خام، اندازه‌گیری ویژگی‌های شیشه (خطوط فراونوفر و شبکه‌های پراش دار به‌عنوان منابع مرجع طول‌موج) و بهبود انتقال و همگنی استفاده می‌کند (مجوز از ویکی‌پدیا).

همچنین فرانهوفر سعی در ذوب انواع شیشه جدید با ویژگی‌های متفاوت با استفاده از عناصر شیمیایی جدید در ترکیب شیشه داشت. بااین‌حال، او موفق نبود؛ شیمی هنوز در فاز پایه خود به‌عنوان علم بود.

شاگردان فرانهوفر، شیشه‌های نوری را فقط برای اهداف خود تولید کردند. برای چندین دهه، شرکت‌های برادران گینند چارلز فیل در پاریس، فرانسه و برادران چنس در بیرمنگام انگلستان، تنها تأمین‌کنندگان شیشه بودند. بااین‌حال، این دو شرکت فقط با انواع شیشه‌های تثبیت‌شده مشغول به کار شدند.

ویلیام ورنون هارکورت، دانشمند و روحانی انگلیسی، کوشید تا شیشه‌های مختلف را با ترکیبات مختلف ذوب کند. بااین‌حال، نمونه‌های کوچک و نامناسب برای تعیین ویژگی‌های اپتیکی خود با دقت کافی بودند.

تا اواخر قرن نوزدهم، اپتیک به‌طورکلی از فقدان انواع شیشه‌ای با ویژگی‌های بسیار متنوع و از کرارپذیری ضعیف خواص نوری و کیفیت آن رنج می‌برد. در دهه ۱۸۸۰، پیشرفت موردنیاز به دست آمد. این کار توسط کارل زایس (شکل ۱-۵) سازنده میکروسکوپ‌ها آغاز شد که راضی به این واقعیت نبود که عملکرد میکروسکوپ او قابل پیش‌بینی و قابل بازیابی نبوده است.

ارنست آبه، استاد دانشگاه ینا اولین کسی که زایس از او تقاضای کمک کرد، ثابت کرد که در اصل، قابلیت پیش‌بینی عملکرد و قابل بازیابی باید امکان‌پذیر باشد. میکروسکوپ‌های که عملکرد بسیار بیشتری نسبت به نمونه‌های موجود دارند، می‌توانند در صورتی ساخته شوند که شیشه‌های اپتیکی کافی در دسترس باشند.

سرانجام اوتو Schott، یکی از اعضای خانواده‌ی شیشه‌ساز، به آن‌ها پیوست و تخصص خود را در زمینه شیمی و فن‌آوری در ذوب به آن‌ها ارائه کرد. در مدت کوتاهی Schott تعداد قابل‌توجهی از انواع جدید شیشه را توسعه داد که ارنست آبه می‌توانست به‌طور مستقیم اندازه‌گیری و ارزیابی کند که آیا خواص اپتیکی مطلوب دارند. اوتو Schott رویکرد بسیار سیستماتیک خود را برای توسعه نه‌تنها برای یافتن انواع جدید شیشه بلکه برای چیره شدن بر فرآیند ذوب، گسترش داد.

اتو شات رویکرد بسیار سیستماتیک خود را برای توسعه نه‌تنها برای یافتن انواع جدید شیشه، بلکه همچنین برای تسلط بر روند ذوب، گسترش داد. در دسترس بودن انواع شیشه جدید با کیفیت بالا و قابل بازیابی، نشان‌دهنده آغاز طراحی اپتیکی است. در حال حاضر، سیستم‌های اپتیکی می‌توانند به‌طور قابل‌اطمینانی طراحی و تولید شوند. بلافاصله پس از آن، پژوهش Schott پیشرفت گسترده‌ای در تمام برنامه‌های کاربردی اپتیکی را آغاز کرد. میکروسکوپ‌ها می‌توانند با عملکرد محدود پراش ساخته شوند که پیشرفت قابل‌توجهی در اکثر علوم، ازجمله پزشکی را قادر می‌سازد.

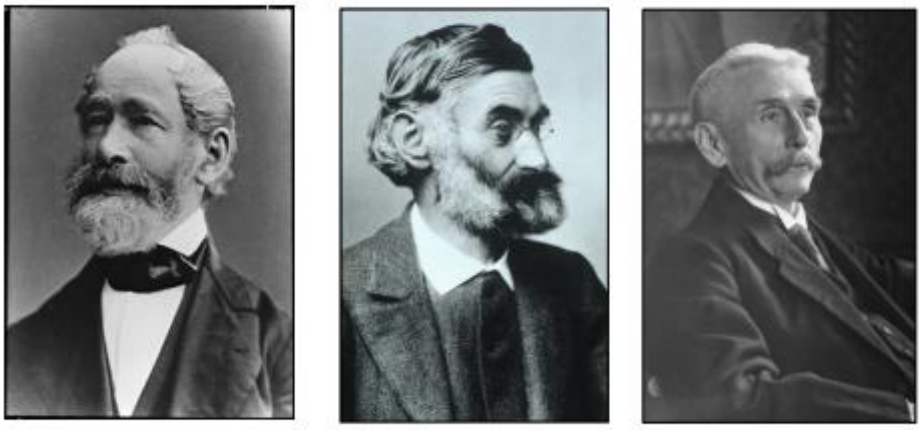
مراحل اولیه رشد شیشه نوری در قرن بیستم:

گسترش طیف نوع شیشه‌ای با شاخص بالا، پراکندگی پایین، نوع شیشه لانتانیم توسط جورج وار موری؛ انواع شیشه‌های فلوروفسفات با پراکندگی بسیار پایین و تکنولوژی مخزن ذوب مداوم در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ توسط Schott؛ تکنولوژی قالب‌گیری دقیق با انواع شیشه‌های

سازگار و معرفی انواع شیشه‌های سرب و آرسنیک توسط شرکت هوایا در ژاپن سال ۱۹۸۰ مورداستفاده قرار گرفت. و انواع شیشه با الزامات بسیار با کیفیت بالا، موردنیاز برای i-line، توسط Schott در دهه ۱۹۹۰ است. روند کلی گذشته نیز برای آینده صورت می‌گیرد.

الزامات مربوط به حل‌وفصل رنگ‌ها همچنان به رشد خود ادامه خواهند داد.

برای مثال، تلویزیون با رزولوشن K۴ و K ۸ به دوربین‌هایی نیاز دارد که قادر به تولید تصاویر با چنین کیفیت برجسته‌ای هستند. در سیستم‌های اپتیکی صنعتی، وضوح رو به افزایش همراه با گسترش طیف طول‌موج در طیف نزدیک UV و IR است.



شکل ۱-۵. (چپ به راست) کارل زایس، آغازگر، ارنست آباب، مخترع و اتو شات، فراهم‌کننده طراحی اپتیکی. (با کسب اجازه از (SCHOTT AG)

شیشه اپتیکی همچنان یکی از مهم‌ترین مواد فعال با نیازهای روزافزون در تنوع، کیفیت و تکثیر است.

۱-۳. خواص عمومی شیشه

برخی ویژگی‌های کلی شیشه وجود دارند که ضروری است فرد از آن آگاه باشد تا ویژگی‌های خاص شیشه اپتیکی را درک کند که می‌تواند با ویژگی‌های مورد انتظار در مواد دیگر متفاوت باشد. به‌طورکلی، شیشه ماده‌ای است که از ذوب شدن آب سرد می‌شود و نتواند کریستال شود. در طول خنک‌سازی، ویسکوزیته به میزان زیادی افزایش می‌یابد تا شیشه به یک ماده سفت‌وسخت تبدیل شود.

ساختار اتمی آن بسیار شبیه به بلورهاست، اما موقعیت اتم‌ها در فضا به‌طور منظم نیست. شیشه متشکل از یک شبکه نامنظم است. ازآنجاکه ساختار بلوری سفارش داده‌شده، حالت با کم‌ترین انرژی است، شیشه‌ها موادی هستند که در تعادل گرمایی نیستند. بنابراین، برخلاف بلورها، خواص آن‌ها تنها با ترکیب آن‌ها مشخص نمی‌شود، بلکه با انحراف واقعی آن‌ها از تعادل حرارتی نیز تعیین می‌شود.

شیشه‌ای که به‌آرامی از دمای انتقالی سرد می‌شود نزدیک‌تر از شیشه‌ای است که به تعادل حرارتی با سرعت خنک می‌شود. به‌عنوان‌مثال، شیشه که آهسته خنک می‌شود دارای اتم‌هایی است که بیشتر از آن بسته‌بندی‌شده و درنتیجه چگالی بالاتری را به دست می‌آورند. به‌عنوان یک نتیجه، ضریب شکست و پراکندگی نه‌تنها به ترکیب شیشه، بلکه بر تاریخچه خنک‌سازی آن و یا برای استفاده از یک حالت متداول در ساخت شیشه، تاریخچه انجماد آن بستگی دارد. شیشه‌ها مواد دارای هدایت حرارتی پایین هستند. بنابراین، تفاوت دمای زیاد ممکن است در طول فرآیند خنک‌کننده بین بخش درونی قطعه و حجم بیرونی آن، با توجه به تغییر درجه حرارت و ضخامت نمونه‌ها رخ دهد.

شیب درجه حرارت به‌صورت خطی متناسب با سرعت تغییر درجه حرارت و افزایش ضخامت آن است. انجماد سریع از قطعات شیشه‌ای نوری با ضخامت ۴ میلی‌متر و پایین‌تر منجر به اختلاف دما ناچیز می‌شود. بااین‌حال، قطعه‌های ضخیم‌تر نیاز به محدود کردن سرعت گداختگی دارند. به دلیل وابستگی درجه دوم، حد نرخ تاب‌کاری برای قطعات با ضخامت بالاتر بسیار سریع افت می‌کند. با ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر یا بیشتر، تاب‌کاری برای هفته‌ها یا حتی چند ماه طول خواهد کشید. نرخ‌های نوری شیشه نوری در عمل، سازگاری بین کیفیت و شرایط اقتصادی هستند. شیب درجه حرارت منجر به تغییرات نرخ انجماد در حجم‌های مختلف جزئی می‌شود.

درنتیجه، خواصی که با نرخ تاب‌کاری تعیین می‌شوند مانند ضریب شکست و پراکندگی برای هر حجم نسبی متفاوت خواهند بود و در مقادیر مختلف در طول حجم به پایان خواهند رسید. به‌عبارت‌دیگر، نتایج غیرمنتظره‌ای وجود دارد. علاوه بر این، برای خنک کردن دمای اتاق تنش مکانیکی ایجاد خواهد شد. حجم درونی بعد از حجم بیرونی به دمای اتاق می‌رسد. انقباض طول حرارتی آن با حجم خارجی سفت‌وسخت محدود می‌شود که منجر به تنش کششی در بخش داخلی و فشار فشردگی در قسمت بیرونی می‌شود.

این تنش فقط برای پاک کردن دقیق عناصر نوری بد نیست، اما یک ناهمگنی نوری اضافی، شکست مضاعف تنش که وابستگی شاخص ضریب شکست بر قطبش نور است را معرفی می‌کند. برخلاف کریستال‌ها، شیشه‌ها دارای هیچ ترکیب خاصی نیستند که توسط طبیعت ترجیح داده شود. برای جدول نمک، رابطه اتم‌های سدیم و کلر دقیقاً یکی است. یک واکنش شیمیایی با یک ماده به‌وفور در ترکیب با یک ترکیب متفاوت منجر به نمک نمی‌شود.

اجزای فراوان بی‌پایانی باقی خواهد ماند. شیشه‌هایی که از مواد خام ساخته‌شده با ترکیب متفاوت از مواد اسمی ساخته می‌شوند، شیشه‌هایی با ترکیبات مختلف و خواص متفاوت خواهند داشت. ترکیبات شیشه‌ای می‌تواند به‌طور مداوم در محدوده وسیعی تغییر کند.

وظیفه یک سازنده شیشه، تعیین ترکیبات خاص و همچنین شرایط مناسب انجماد مناسب ازلحاظ فنی برای ساخت انواع شیشه به‌عنوان عناصر مجموعه‌ای از شیشه‌های نوری است. این نوع شیشه‌ها باید با کیفیت بالا با قدرت تحمل محدود در اندازه‌ها و مقادیر معقول قابل‌تولید مجدد باشد.

۱-٤. شیشه نوری: تعریف

شیشه نوری یک ماده تکنیکی است، به این معنی که با مجموعه‌ای از خواصی که می‌تواند در تحمل‌های محدود در حجم‌های منطقی تکثیر شود مشخص‌شده است. در فهرست زیر، این ویژگی‌ها برای اولین بار به‌صورت الزامات عمومی و سپس به‌عنوان ویژگی‌های فیزیکی (در پرانتز) داده می‌شوند:

- انتقال بالا نور (انتقال توان داخلی)؛
- انحراف دقیق نور (شاخص شکست و وابستگی آن به طول‌موج: پراکندگی)؛
- یکنواختی بالا در انحراف نور در طول حجم (همگن نوری، دو برابر شدن شکست)؛
- همگنی مواد بالا و وضوح (محتوای حباب‌ها، گنجایش، تک‌بلورها، توده‌ای از بلورهای خیلی ریز و غیرمرئی: بخار، بلورسازی)؛ و
- رفتار مناسب در فرآیند سنگ‌زنی و صیقل و تحت تأثیرات محیطی (مقاومت مکانیکی و شیمیایی).
- همه این ویژگی‌ها باید باشند.
- ترجیحاً به‌عنوان یک کمیت فیزیکی، به‌خوبی تعریف کنید،

- قابل‌اندازه‌گیری با دقت کافی
- قابل‌تجدید و
- در حداقل اندازه قطعه و اندازه آن ثابت است.

تعداد کافی از انواع شیشه با شاخص‌های مختلف شکست و با پراکندگی باید برای دوره‌های زمانی طولانی تکمیل یکدیگر هستند در دسترس باشند. برخی از ویژگی‌ها به‌خوبی تعریف‌شده‌اند و می‌توانند با دقت بالا اندازه‌گیری شوند، به‌عنوان‌مثال، ضریب شکست و همگنی نوری. ویژگی‌های دیگر، به‌عنوان‌مثال، محتوای شیاربندی، به‌اندازه کافی تعریف‌نشده‌اند.

برای سالیان متمادی، شیاربندی در برابر نمونه‌های مرجع پایه A تا D مورد بازرسی قرارگرفته و محتوای شیاربندی متفاوت را نشان می‌دهد. تلاش برای ایجاد یک روش اندازه‌گیری بر مبنای تغییر شکل جبهه امواج رادیویی مقدار فیزیکی معنی‌دار جسمی انجام‌شده است. تلاش‌ها برای توسعه یک روش اندازه‌گیری بر اساس تغییر شکل معنی‌دار فیزیکی تغییر شکل انجام‌شده است. بااین‌حال تا به الآن روش عملی ممکن ایجاد نشده است.

و شماره آبه $d = (nd - 1) / (nF - nC)$ به‌عنوان اندازه‌گیری برای پراکندگی که nd را با پراکندگی اصلی ((nF-nCمرتبط می‌کند، اندازه‌گیری ضریب شکست از خط آبی جیوه F در ۴۸۶ نانومتر به خط جیوه C در ۶۵۶ نانومتر تغییر می‌کند.

کد شیشه‌ای همان‌طور که در استاندارد بین‌المللی " iso 12123 اپتیک و فوتونیک مشخصات شیشه اپتیکی خام "توصیف‌شده است، از یک عدد شش‌رقمی استفاده می‌کند. سه رقم اول نشانگر شاخص شکست می‌شود و اولویت "۱" را حذف می‌کند و سه رقم دوم به مقدار آبه vd می‌دهد. کد برای نوع شیشه‌ای منحصربه‌فرد نیست. انواع شیشه‌های بدون سرب و آرسنیک با هدف بسیار خوبی برای ایجاد موقعیت مشابه اپتیک به‌عنوان پیشینیان کلاسیک خود ساخته‌شده‌اند.

بنابراین، با تنها کد شیشه‌ای، آن‌ها قابل‌تشخیص نیستند چون شاخص‌های شکست و آبه به یک کد مشابه منتهی می‌شوند، اگرچه ممکن است ترکیبات شیمیایی بسیار متفاوتی و همچنین ویژگی‌های فیزیکی داشته باشند.

SCHOTT با اضافه کردن سه رقم که چگالی شیشه را نشان می‌داد این ابهام را برای انواع شیشه حذف کرد.

جدول ۱-۱ مقادیر N-SF6 نوع شیشه‌ای بدون سرب و آرسنیک و SF6 سیلیکات سرب کلاسیک را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱. کد شیشه‌ای شیشه‌های نوری که توسط کد چگالی بسط داده می‌شوند.

Glass type	n_d	v_d	Density	Glass Code
N-SF6	1.80518	25.36	3.37	805254.337
SF6	1.80518	25.43	5.18	8052254.518

برخی از تولیدکنندگان لیست‌هایی را نشان می‌دهند که معادل‌سازی انواع شیشه از تولیدکنندگان مختلف را نشان می‌دهد. چنین فهرست‌هایی باید بااحتیاط مورداستفاده قرار گیرد.

معادله در نظر گرفته‌شده فقط در مورد موقعیت نوری، یعنی شاخص شکست nd و عدد آبه vd، اعمال می‌شود.

موقعیت‌های نوری مشابه را می‌توان با ترکیبات شیمیایی مختلف به دست آورد. باید بررسی شود که این مقادیر و ویژگی‌های دیگر باهم مطابقت داشته باشند. به‌اصطلاح انواع شیشه معادل، حتی با موقعیت‌های نوری مشابه، ممکن است در طول پردازش در کارگاه نوری تفاوت زیادی داشته باشند.

۱-۵. انواع شیشه اپتیک: نمونه کارها

قبل از کار پیشگام اتو شات، تنها دو خانواده در حدود ۲۰ نوع شیشه‌ای نوری وجود داشت:

Soda lime crown شیشه‌ها را با ضریب شکست کم و پراکندگی نسبتاً کم و شاخص سطح بالاتر سیلیکات سدیم با پراکندگی بالاتر نشان می‌دهد. این دو طبقه‌بندی باهم با تغییرات آشکار در کیفیت، به‌عنوان اساس پایه مادی برای اپتیک دقیق کافی نبودند.

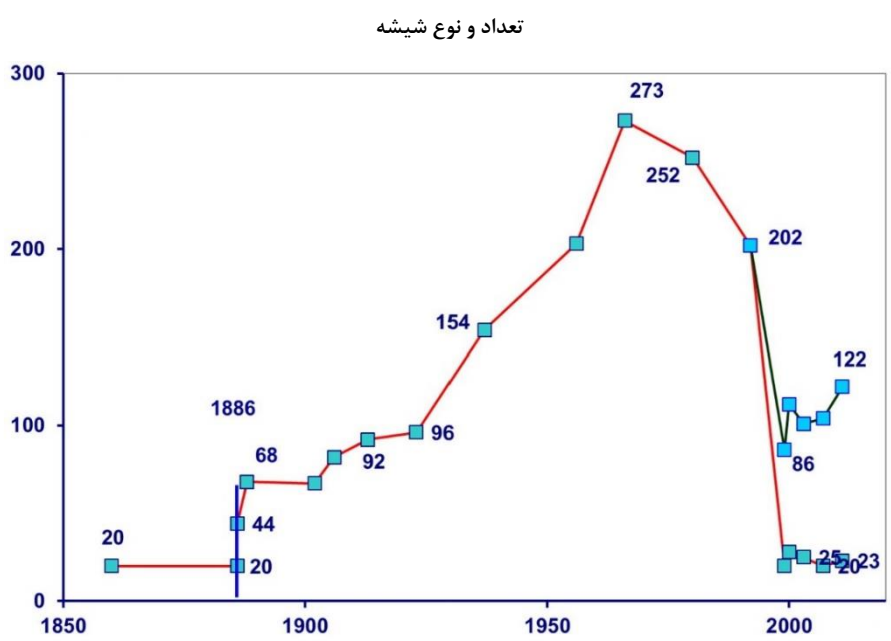
با استفاده از کاتالوگ SCHOTT 1886 تعداد شیشه‌های موجود به دلیل معرفی شیشه‌های جدید حاوی عناصر شیمیایی مانند بور، باریم، فسفر و روی، دو برابر شده است. دو سال بعد، تعداد انواع شیشه حتی سه برابر شد.

اهداف اصلی شیشه‌های مجدد سنتی شیشه‌ای و انواع شیشه‌های جدید برای تطابق پراکندگی بلور بهتر از تطبیق قبلی و ارائه انواع شیشه‌ها با پراکندگی‌های مختلف در همان سطح ضریب شکست و برعکس.

این نمونه شیشه که طیف وسیعی از خواص اپتیک را فراهم می‌کند، منجر به پیشرفت اپتیک دقت و امکان طراحی نوری می‌شود. از آن زمان، تعداد نوع شیشه‌ها با توجه به معرفی عناصر اضافی مانند فلوئور و به‌ویژه لانتانیم توسط شرکت کداک به‌طور مداوم افزایش یافت تا زمانی که در سال ۱۹۶۷ به اوج رسید، درحالی‌که ۲۷۳ نوع شیشه در فهرست ذکرشده بود (شکل ۱-۶).

در سال‌های بعد از سال ۱۹۶۷، برخی از انواع شیشه به دلیل استفاده کم رها شدند. در سال ۱۹۹۸، کاهش شدیدتری همراه با تغییر گسترده‌ای از انواع شیشه، منجر به تغییر چشمگیر در تعداد انواع شیشه‌های موجود شد. بازار آسیا فقط انواع شیشه‌های بدون سرب و آرسنیک را که تحت تأثیر مصرف‌کننده‌های اپتیک بود را پذیرفت و از استفاده از انواع شیشه‌های عرضه‌کننده انحصاری خودداری کرد.

بسیاری از انواع خاص شیشه‌ای که تنها توسط ایالات‌متحده و مشتریان اروپایی مورداستفاده قرار گرفت، غیراقتصادی بوده و ازاین‌رو رهاشده‌اند. برای دستیابی به همان عملکرد نوری، به‌عنوان نوع شیشه‌ای حاوی سرب و آرسنیک تعداد زیادی از انواع شیشه باید دوباره طراحی شوند. در بسیاری از موارد این امکان وجود داشت، اگرچه ویژگی‌های دیگری تغییر کرد. بااین‌حال، انتقال حرارت بالا از بلور اکسید سرب در محدوده طیف آبی تا فرابنفش (UV) در ترکیب با ضریب شکست بالا نمی‌تواند بدون هیچ‌گونه جایگزین حفظ شود.



شکل ۱-۶. تاریخچه نمونه کارهای نوع شیشه نوری .SCHOTTخط قرمز: انواع شیشه‌های کلاسیک، خط سیاه: تعداد کل.

توجه به افزایش شدید با شروع توسعه نوع شیشه و کاهش شدید به علت تغییر نوع شیشه و سرب و آرسنیک و جدید ساختار اقتصادی است. یک گرایش دیگر در اپتیک مصرف‌کننده، تولید کم‌هزینه لنزهای کوچک و به‌خصوص غیر کروی (به‌اصطلاح روش دقیق قالب‌گیری)، استفاده از انواع شیشه است که با الزامات فرآیند تطبیق داده‌شده‌اند.

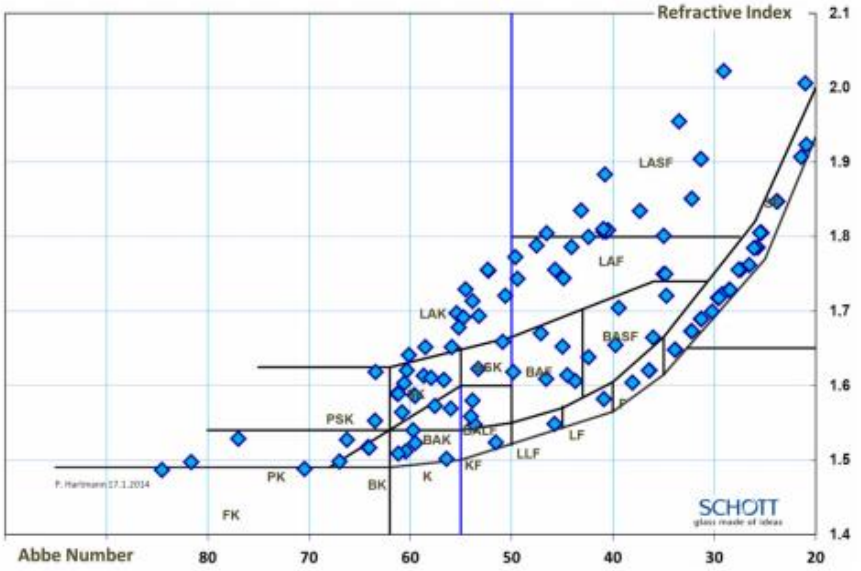
این شیشه‌ها باید در کم‌ترین درجه حرارت ممکن مورداستفاده قرار گیرند و کیفیت سطح براق preforms را حفظ کرده و از چسبیدن به سطوح press اجتناب کنند. تعدادی از انواع شیشه‌های مخصوص به وجود آمده با انواع شیشه‌های موجود در فرآیند هنوز درحال‌توسعه می‌باشند.

نمونه SCHOTT ۲۰۱۴ شامل ۱۰۵ نوع شیشه‌ای، ازجمله ۱۷ شیشه حاوی سرب و آرسنیک است.

۲۶ شیشه بدون سرب و آرسنیک دقت بالا هستند و ۱۵ مورد از این ۲۶ مورد برای این منظور توسعه‌یافته‌اند.

به‌طور سنتی، یک مرور کلی از نمونه کارهای شیشه‌های اپتیکی در نمودار به‌اصطلاح آبه (شکل ۱-۷) داده‌شده است. در اینجا، انواع شیشه در محور x بر اساس عدد آبه خود اعمال می‌شود. برخلاف اکثر نمودارها، اعداد بزرگ‌تر به سمت چپ حرکت می‌کنند. این قالب برای نشان دادن افزایش انتشار به سمت راست انتخاب می‌شود. مقادیر زیاد عدد آبه پراکندگی زیاد و بالعکس را نشان می‌دهد. ضریب شکست در محور y داده می‌شود.

انواع شیشه‌ها در خانواده‌هایی که توسط مناطق با خطوط مرزی ثابت حاوی بخش عمومی آن‌ها مشترک (نام خانوادگی)؛ هستند، تعریف می‌شوند. برای مثال، BK برای تاج بور و LASF برای گرانیت چسبان لانتانیم. اعداد نشان‌دهنده انواع شیشه‌های جداگانه هستند و معنای خاصی ندارند.



شکل ۱-۷. نمودار آبه به‌عنوان نمای کلی برای انواع شیشه موجود با خطوط مرزی خانوادگی شیشه‌ای و نام‌هایی که با نسخه ۱۹۲۳ از کاتالوگ SCHOTT معرفی شدند. توجه: عدد آبه به چپ افزایش می‌یابد، اما پراکندگی به سمت راست می‌رود.

سطح پرشده با شیشه‌ها شباهت به جزیره دراز با ضریب شکست بالا، انواع شیشه با پراکندگی بالا در گوشه سمت راست‌بالا و انواع شیشه شکست کم در گوشه سمت چپ پایین دارد.

انواع شیشه‌ای در بیشترین تقاضا، آن‌هایی هستند که در گوشه‌ها و در کنار خطوط مرز مجازی قرار دارند.