مواد هوشمند کروماتیک

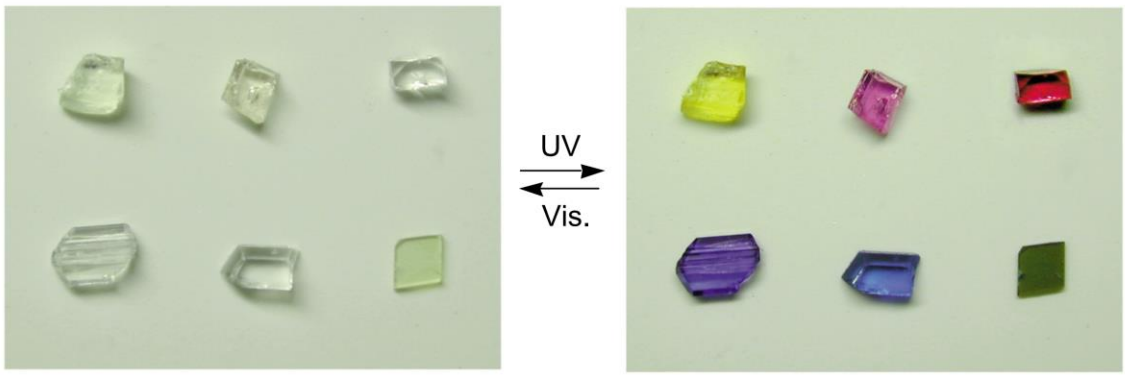
یکی از مهم‌ترین دسته‌های مواد هوشمند مواد تغییر رنگ دهنده هستند. این مواد که در معرض شرایط مختلف تغییر رنگ می‌دهند، کروموژنیک و یا کروموتروپیک و پدیده تغییر رنگ در اثر محرک خارجی کروموتروپیزم خوانده می‌شوند. محرک تغییر رنگ می‌تواند نور، حرارت، تنش مکانیکی، ماده‌ی شیمیایی و ... باشد. در برخی موارد تغییر رنگ موقت و بازگشت‌پذیر است و در برخی دیگر از این مواد، تغییر رنگ دائمی است.

در ادامه توضیح مختصری در خصوص هر یک از این مواد ارائه می‌شود.

۱ مواد فتوکرومیک

فتوکرومیسم واکنش بازگشت‌پذیری بین دو ماده با ضریب جذب‌های متفاوت است که با دریافت امواج الکترومغناطیسی انجام می‌شود. لغت فتوکرومیسم از Phos یونانی به معنی نور و Chroma یونانی به معنی رنگ گرفته شده است. اولین گزارش فتوکرومیسم در سال ۱۸۶۷ توسط Fritzsche ارائه شد. در آزمایش Fritzsche پس از رنگ‌زدایی از محلول نارنجی رنگ tetracene، رنگ محلول در نور خورشید به حالت اول بازگشت.

شیشه‌های فتوکرومیک شیشه‌هایی هستند که در برابر دریافت نور مرئی و یا اشعه ماورای بنفش تغییر رنگ می‌دهند. این شیشه‌ها در دهه ۱۹۶۰ توسط Roger Araujo ابداع شدند. مهم‌ترین کاربرد این نوع شیشه در تولید لنزهای پزشکی است. شیشه‌های فتوکرومیک این قابلیت را ایجاد می‌کنند که بیمار هم در نور مصنوعی و هم در نور طبیعی، از لنز استفاده کند و مشکلات ناشی از نور خورشید در دید بیمار را کاهش می‌دهند.



شکل ۱ بلور مواد فتوکرومیک در معرض نور ماوراء بنفش

شیشه‌های فتوکرومیک معمولاً با قرار گرفتن میکروکریستال‌هایی از هالیدهای نقره در ساختار شیشه به‌دست می‌آیند. در انواع پلاستیکی، از مواد آلی دارای خاصیت فتوکرومیک مانند oxazine و یا naphthopyran استفاده می‌شود. در انواع شیشه‌ای خاصیت فتوکرومیک به ضخامت شیشه وابسته است. به همین دلیل تغییر ضخامت لنز می‌تواند این ویژگی را کم و یا زیاد کند، اما در انواع پلاستیکی ماده فتوکرومیک به صورت لایه‌ای یکنواخت به ضخامت مشخص روی لنز اعمال می‌شود.

شکل ۲ شیشه فتوکرومیک در درصدهای مختلف تغییر رنگ

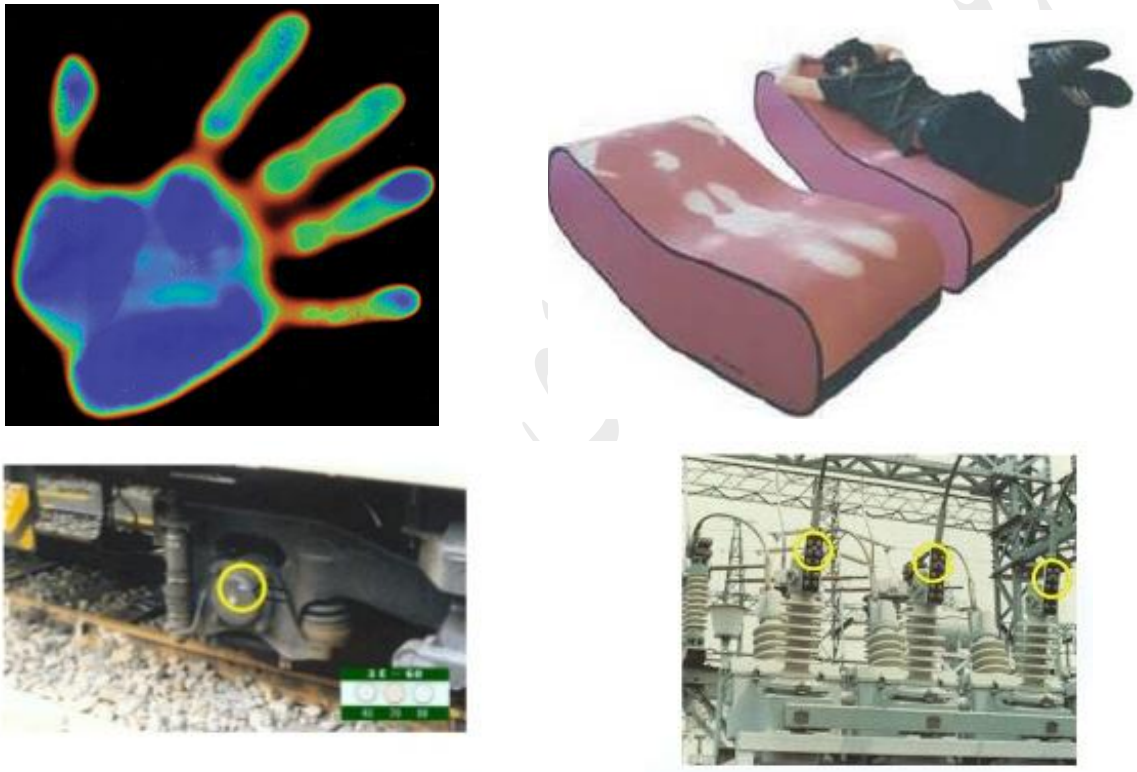
تغییر رنگ لنزهای فتوکرومیک واکنشی نفوذی-حرارتی است؛ یعنی انرژی فعال‌سازی واکنش از محیط گرفته می‌شود. بنابراین دمای محیط تأثیر قابل توجهی در بازگشت به حالت شفاف دارد. در نتیجه این لنزها در دمای بالا نمی‌توانند کاملاً تیره شوند. از سوی دیگر در دمای پایین برگشت‌پذیری واکنش مختل می‌شود و زمان قابل توجهی برای برگشت لنز به حالت شفاف طول می‌کشد. علاوه بر کاربرد رایج لنزهای فتوکرومیک در پزشکی، این مواد در تولید وسایل آرایشی، زینتی و قطعات دکوراتیو کاربرد نیز دارند. کاربرد دیگر این مواد در ثبت داده بر حافظه‌های نوری، کاربردهای نظامی، ساخت سوییچ‌های مولکولی و صنایع نساجی است.

۲ مواد ترموکرومیک

خانواده‌ای دیگر از مواد تغییر رنگ دهنده مواد ترموکرومیک هستند که با دریافت انرژی به صورت حرارت خواص نوری خود را تغییر داده و تغییر رنگ می‌دهند. مواد مختلفی از جمله پلیمرها، برخی نیمه رساناها و

کریستال‌های مایع می‌توانند خواص ترموکرومیک داشته باشند. تغییر رنگ می‌تواند یکباره و یا تدریجی، دائمی و یا موقت باشد. دامنه تغییر رنگ مواد ترموکرومیک با روش‌های مختلفی قابل تغییر است.

مواد ترموکرومیک در اثر تغییرات دمای محیط اطراف تغییر رنگ می‌دهند. علت تغییر رنگ این مواد وجود واکنشی تعادلی بین دو ماده، دو فاز و یا دو ساختار مختلف است که در یک بازه دمایی با یکدیگر در حال تعادل‌اند. با تغییر دما واکنش به سوی یکی از این دو حرکت کرده و آن را غالب می‌سازد. در نتیجه رنگ ماده تغییر می‌کند.



شکل ۳ نمونه‌هایی از مواد ترموکرومیک؛ تغییر رنگ به دلیل تفاوت دمای بخش‌های مختلف دست و تغییر رنگ تخت خواب و سنسور های مورد استفاده در ترانس‌های برق و قطارها

مواد زیادی خواص ترموکرومیک نشان داده‌اند. از جمله این مواد می‌توان به هیدروکسیل‌ها، اسپیروپیران‌ها، رزین پلی‌وینیل استال و انیل از گروه مواد آلی و یدید نقره، یدید جیوه و $SrTiO_3$ اشاره نمود.

برخی مواد ترموکرومیک در گستره وسیعی از رنگ‌ها تغییر رنگ می‌دهند اما ثبت دمای تغییر رنگ دقیق برای آن‌ها ممکن نیست. در برخی دیگر از این مواد دمای تغییر رنگ با دقت قابل قبولی قابل تشخیص است. به همین دلیل امکان استفاده از آن‌ها در کالاهای تبلیغاتی و دماسنج‌های مورد استفاده برای غذای نوزادان،

نوشیدنی‌ها، آکواریوم‌ها و یخچال‌ها وجود دارد. در صنایع فضایی از مواد ترموکرومیک برای تغییر ضریب تابش سطوح استفاده می شود. رنگ‌ها و جوهرهای ترموکرومیک نیز برای رنگ آمیزی انواع مصنوعات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل ۴ تغییر رنگ ظرف با افزایش دما

شکل ۵ تغییر رنگ دیوار با افزایش دما با دلیل روشن بودن رادیاتور

با تنظیم دقیق گستره تغییر رنگ می‌توان از این مواد به عنوان هشدار دهنده نیز استفاده نمود. همچنین با ترکیب این مواد و مدارهای الکتریکی می‌توان از این مواد برای سنجش میزان جریان عبوری از یک مدار استفاده نمود. در این مدارها با افزایش جریان میزان اتلاف حرارت و در نتیجه دمای سیم بالا می‌رود و با استفاده از مواد

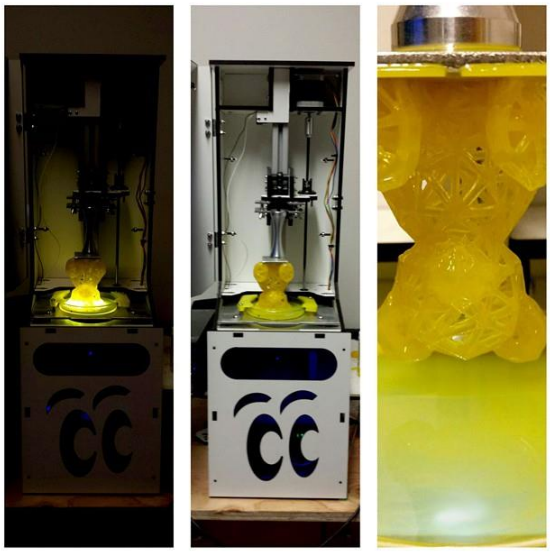
ترموالکتریک می‌توان میزان جریان را سنجید. از این قابلیت در سنجه های باتری‌های الکتریکی استفاده می‌شود. کاربرد دیگر این مواد ماشین‌های تست غیر مخرب و وسایل تست پزشکی است.

شکل ۶ سنجه باتری ساخته شده با مواد ترموکرومیک

شکل ۷ تابلوی هشدار که در دمای کمتر از ۱- درجه سلسیوس علامت هشدار برف به رنگ آبی مشخص می‌شود.

۳ مواد مکانوکرومیک

این مواد با اعمال نیروی مکانیکی تغییر رنگ داده و یا میزان شفافیت آن‌ها تغییر می‌کند. این مواد همچنین به نام پیزوکرومیک نیز شناخته می‌شوند. تغییر در این مواد می‌تواند با مالش، خرد شدن، پرس شدن و ... ایجاد شود. ایده استفاده از این مواد در ساخت طناب‌هایی که با مستهلک شدن تغییر رنگ می‌دهند، در سال ۹۷ طرح شد. کاربردهای زیاد دیگری نیز برای این مواد پیشنهاد شده است که بیشتر حول پیش‌بینی شکست و تخریب در اثر افزایش نیرو، می‌باشند. بیشتر این موارد در صنایع هوا-فضا بوده‌اند، که هزینه بازرسی و تعمیرات دوره‌ای بالاست.



شکل ۸ تغییر رنگ ماده بر اساس کرنش اعمالی

٤ مواد الکتروکرومیک

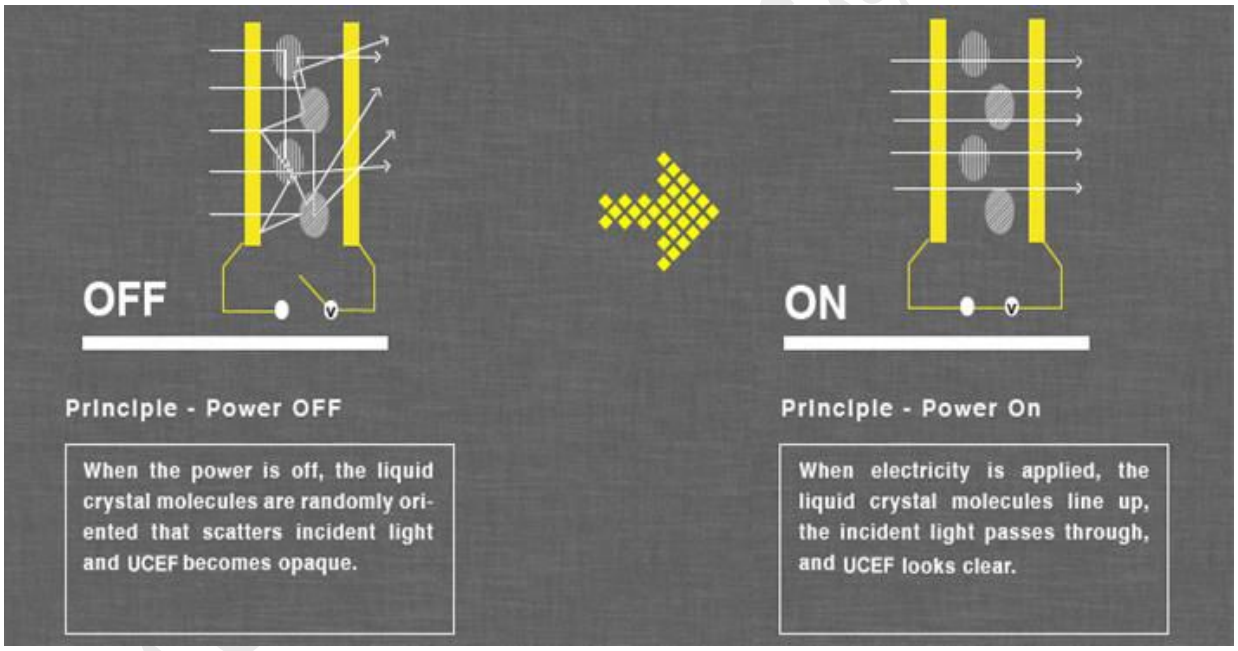
این مواد با اعمال بار الکتریکی و یا قرار گرفتن در میدان الکتریکی تغییر رنگ می‌دهند. پدیده الکتروکرومیزم در سال ۱۹۵۳ کشف شد. تغییر رنگ تری‌اکسیدتنگستن در اثر اعمال میدان الکتریکی عامل کشف این پدیده بود. تغییر رنگ به دلیل قرار گرفتن در میدان الکتریکی بیشتر در اکسید فلزات واسطه‌ای همچون تنگستن، مولیبدن، تیتانیوم، کبالت، نیکل و .... اتفاق می‌افتد.

در دهه ۸۰ میلادی در آمریکا و اروپا تلاش‌هایی برای توسعه این تکنولوژی و استفاده از آن برای صفحات نمایش بزرگ شده بود اما مشکلات مواد الکتروکرومیک و ارائه تکنولوژی‌های جایگزینی همچون کریستال مایع

باعث کنار گذاشته شدن این ایده شد. تکنولوژی امروزه مواد الکتروکرومیک بسیار قابل اتکاتر بوده و در صورتی که نیاز به پاسخ سریع از دستگاه وجود نداشته باشد این تکنولوژی مطمئن‌تر از تکنولوژی LCD است. این فن‌آوری در ساخت کتابخوان‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل ۹ صفحه کتابخوان الکتروکرومیک؛ شفافیت صفحه با اعمال ولتاژ تغییر می‌کند.

کاربرد دیگر مواد الکتروکرومیک در برچسب‌های ضد جعل در اسکناس‌ها و شیشه‌های هوشمند است. همچنین در ۲۰ سال منتهی به سال ۲۰۱۴ تقریباً ۱۰۰۰ پتنت و ۱۵۰۰ مقاله علمی درباره پنجره‌های الکتروکرومیک نوشته و ثبت شده است. پنجره‌های الکتروکرومیک هوشمند با جریان الکتریسیته شفاف یا تار می‌شوند. این شیشه‌ها معمولا به صورت چندلایه ساخته می‌شوند.



شکل ۱۰ ساختار چند لایه و مکانیزم عملکرد یک شیشه الکتروکرومیک

۵ مواد کِموکرومیک

این مواد با قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی دیگر تغییر رنگ می‌دهند. علت این امر انجام واکنش‌های شیمیایی مشخص و تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی ماده است. عملاً بسیاری از مواد امکان واکنش با مواد دیگر و تغییر رنگ را دارند؛ اما چیزی که مواد کِموکرومیک را متمایز می‌سازد بازگشت‌پذیری واکنش است. مواد

کِموکرومیک دسته‌های مختلفی دارند که شامل مواد حساس به انواع گازها، مواد حساس به هالوژن‌ها، مواد حساس به هیدروژن، مواد حساس به آب و مواد حساس به حلال‌ها هستند. رایج‌ترین کاربرد این مواد حسگرهای مواد شیمیایی است.

شکل ۱۱ شناساگر هیدروژن؛ برچسب مواد کِموکرومیک که با حضور هیدروژن تغییر رنگ می‌دهد.

شکل ۱۲ دستمال سفره Underfull حاوی مواد هوشمندی که مرطوب شدن دستمال را مشخص می‌کنند.

٦ مواد بیوکرومیک

این مواد در مجاورت مواد زیستی خاصی تغییر رنگ می‌دهند. این مواد که معمولاً مصنوعی هستند با آنزیم‌های خاصی در مواد زیستی خاص مانند تومورها و یا میکروب‌ها واکنش داده و در نتیجه تغییر رنگ می‌دهند. از این مواد در تشخیص بیماری‌ها به‌وفور استفاده می‌شود.

سند توسعه فناوری‌های مواد و ساخت پیشرفته