

FOTOKROMİK VE IŞIĞA DUYARLI CAMLAR

Donald M. Trotter Jr.

M.Ö. 2000 yılından itibaren, cam yapımı sanatını keşfetmiş olan hemen her medeniyet camdan, kaplar, süslemeler ve heykeller yapmak için yararlanmıştır. Camı kilden ayıran karakteristik özellik, elbette ki onun saydamlığıdır. Işık camdan hemen hemen serbestçe geçer, cam da ışığın geçişinden etkilenmez. Ancak daha az bildiğimiz bazı cam çeşitleri ışığa tepki gösterir ve aydınlatıldıkları zaman yararlı değişikliklere uğrarlar. Bu değişiklikler, yapımcılara birçok âlet yapmak imkânını verir. Bugünkü araştırmalar, binalarda kendini gölgeleyen camlar, gün ışığında kendiliğinden karararı gözlük camları, çeşitli görme bozukluklarını düzelten camlar, entegre devre konnektörleri ve manyetik hafıza cihaz kafa yastıkları üzerinde yoğunlaşmıştır.

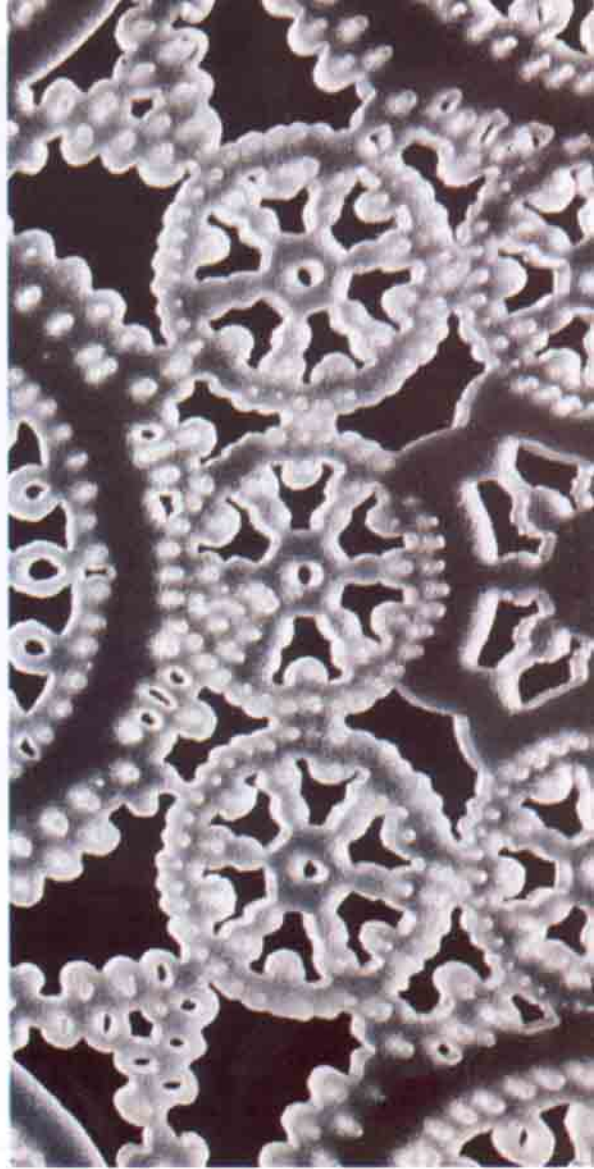
Artık cam, bundan dört bin yıl önce hiç düşünülmemeyecek olan kullanım alanları bulmuştur.

Bu camlar, iki çeşide ayrılırlar. Fotokromik camlar, şiddetli bir ışığa maruz kaldıkları zaman geçici olarak renklerini değiştirirler. Buna karşılık ışığa duyarlı camlar, görünmez bir "gizli görüntü" oluştururlar. Daha sonra ısı işlem uygulanırsa, bu görüntü gelişerek camdan devamlı yapı veya renk değişiklikleri ya da her ikisi birden ortaya çıkar.

Böyle camlar, sanayide kullanılmak üzere seri olarak imal edilebilir. Kimyasal usullerle üretildikleri için, çok incelikle hazırlanabilir, hatta üzerlerinde bir insan saçının geçemeyeceği kadar küçük delikler açılabilir. Üstelik, fotokromik ve ışığa duyarlı camlar, durağandır, etkileşmezler, su geçirmezler, dayanıklı olup, iletken değildirler. Bu da onlara plastik ve metale göre yapısal avantajlar sağlar.

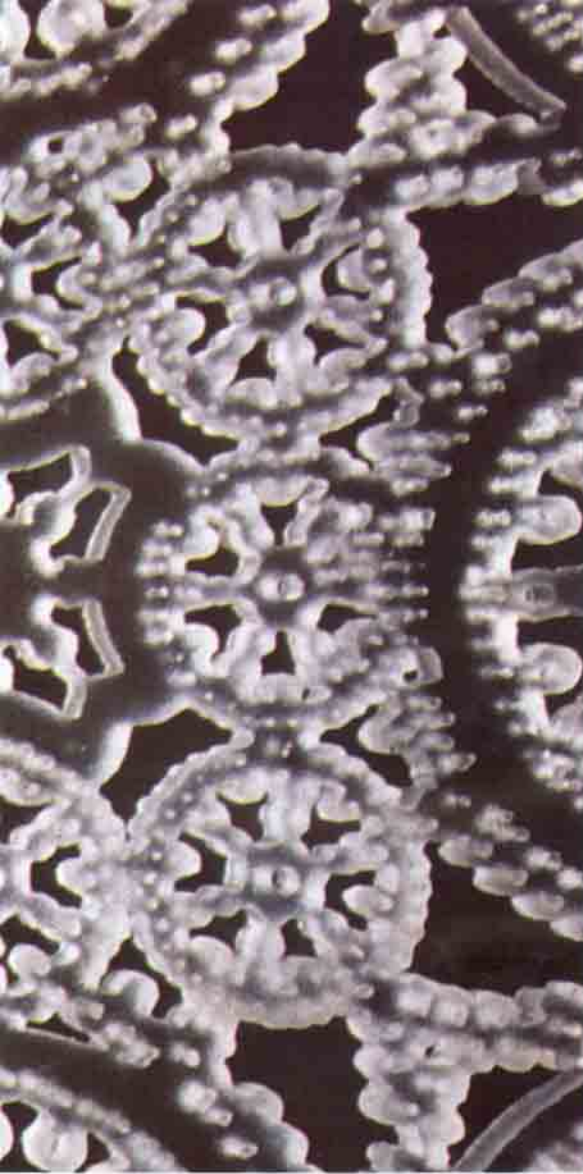
Bilim adamları ve mühendisler, camların özelliklerini yeniden belirlemek ve ticarî uygulama alanları bulmak için uğraşmaktadırlar. Bu araştırmaların kimyasal temeli, 1940'lerde Corning Glass Works şirketinden S. Donald Stookey ve arkadaşları tarafından atılmıştır. Onlar, araştırmalar sonucunda kimyasal katı maddeleri kullanarak fotokromik ve ışığa duyarlı cam yapmayı başarmışlar ve Stookey, bugün bile kullanılmakta olan temel kimyasal işlemleri geliştirmiştir.

Fotokromik ve ışığa duyarlı camlar, diğer basit camların çoğu gibi, esas itibarıyla silisyum dioksitten oluşurlar. Silisyum dioksit, bildiğimiz kumun ana yapı maddesidir. Ancak silisyum dioksidi işlemek güçtür. Gayet yüksek bir derecede (1600°C üzerin-



de) erir ve fevkalâde ağırdır. Onunla uğraşanlar, erime derecesini düşürmek ve akışkanlığını arttırmak için cam hamuruna bazılar ve bazik toprak oksitleri katarlar. Camın kırılma indisini iklime karşı direnç ve sağlamlığını denetlemek üzere, alüminyum, bor, titan ve diğer metal oksitleri de eklenmektedir. Bu gibi oksitler, camdaki moleküllerin dizilişini ve koordinasyonunu etkilemektedirler.

Bu bazik cama fotokromik ya da ışığa duyarlı özelliklerini vermek üzere az bir miktar element ilave edilir. İlave maddeleri, aydınlatmaya ve ısıtmaya tepki gösterir ya da çökelirler. Fotokromik cam yapmak için, işe önce nispeten fazla ölçüde borik oksit ihtiva eden bir bazik cam karışımı ile başlanır. Buna nitrat ya da klorit şeklinde gümüş ve bakır, ayrıca bir metal halit eklenir. Metal halit, bir metal ile flor, klor, brom ya da iyottan oluşan bir bileşiktir. Daha



Işığa Duyarlı Camdan Süsleme : Resimde dört kat büyütülmüş olarak gösterilen bu süsleme, ışıktan maskeleyenmemiş bölgelerin mor ötesi ışığa maruz bırakılmasıyla oluşturulmuştur. Isıtılmadan sonra bu bölgeler opal duruma geçmekte ve hidroflikasitle eritip çıkarılmaktadır. Asit, camı da oyarak ona buzlu bir görünüm vermektedir.

için binlerce yıl beklememiz gerekirdi. Camla çalışanlar, hızlı çökelmeyi sağlamak için camı yeniden yumuşama derecesinin biraz altına kadar, 600°C dolaylarında, 30 dakika süreyle ısıtırlar.

Çapı yaklaşık 100 angström olan kristalcikler, dalgaboyu 4000 ilâ 7000 angström olan görülebilir ışığı saçıp ememeyecek kadar küçük ve saydamdır. Bu yüzden cam tamamıyla berrak ve renksiz olarak kalır. Ancak kristalcikler daha kısa dalgaboylarında geçirgenlik özelliklerini muhafaza etmezler ve güneşten gelen mor ötesi ışığı emerler. Böyle bir ışığa maruz kaldıkları zaman, pozitif yüklü olan ve negatif halojen iyonlarına iyonik olarak bağlanmış bulunan bazı gümüş iyonları, bir bakır iyonundan bir elektron alarak nötr atomlar haline dönüşürler. Olayın sonucunda nötr gümüş atomlarından binlercesi bir araya gelerek küçük gümüş benekler meydana getirirler. Bu benekler henüz görülebilir ışığı saçacak kadar büyük olmamakla birlikte, ışığı emebilirler. Hangi dalgaboyunun emileceği, beneklerin iriliğine bağlıdır. Benekler çeşitli boy ve biçimlerde olduğundan, ışığı aynı derecede iyi olarak emebilmektedir. Sonuçta cam gri bir renge bürünerek kararacaktır. Aydınlatmaya son verildiği zaman, bakır iyonları kaybettikleri elektronları tekrar kazanmakta, bunun üzerine gümüş benekleri tekrar gümüş halit'e dönüşmekte ve cam da eski renksiz duruma dönmektedir. Olay sırasında kristalciklerden hiçbir şey kaybolmadığından, cam kalitesinde herhangi bir düşme olmaksızın binlerce defa karartılıp ağartılabilir.

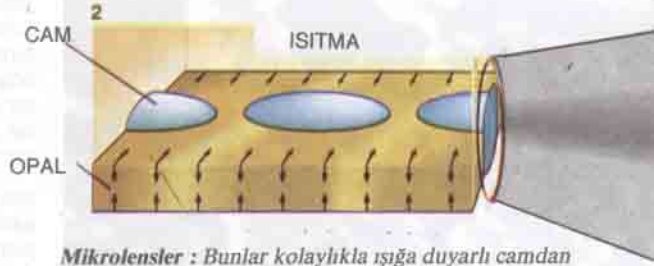
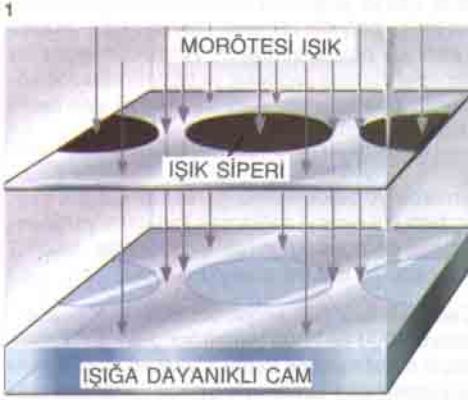
Bu tekniklerde 1970'lerde sağlanan ilerlemeler, özellikle güneş camlarının yapımına imkân vermiştir. Son zamanlarda bu camlar hidrojen fırınlamasına tâbi tutulmaktadır. Fırınlamada kalıcı gümüş benekler elde olunmakta, bu da camlara koyu bir renk vermektedir. Renk tonu, fırınlama süre ve si-

sonra hamur yaklaşık 12000°C'lik bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu derecede, hamur koyu şurup kıvamında homojen bir akıcı sıvıya dönüşür. İşçiler bu erimiş camı kalıplara dökerler. Bu kalıplar sıvıyı çeşitli biçimlere sokabilir; meselâ lensler için sonradan yapılacak kabarık diskler gibi. Kalıp, camı soğutur ve katılaşıp şeklini muhafaza etmesini sağlar. Cam soğudukça, bor bazik cam yapısına yerleşme biçimini değiştirir. Bunun sonucunda, erime derecesinde camda çözülmüş olan halojenler daha az çözülür duruma gelirler. Bu nedenle, halojenler eriyikten çıkarak gümüş ve bakır ile etkileşebilirler. Reaksiyon, az miktarda bakır halit ihtiva eden kristalciklerin çökmesine sebep olur.

Çökme prensip olarak oda sıcaklığında da meydana gelebilir ama, katı cam kalıbı içindeki yayılma o kadar yavaştır ki, kristalciklerin gelişmesi



Fotokromik Camdan Gözlük : Fotokromik camlar, öncelikle gün ışığına çıkınca kararan camlar olarak kullanılmaktadır. Buradaki camlardan sadece biri, mor ötesi ışığa maruz bırakılmıştır.



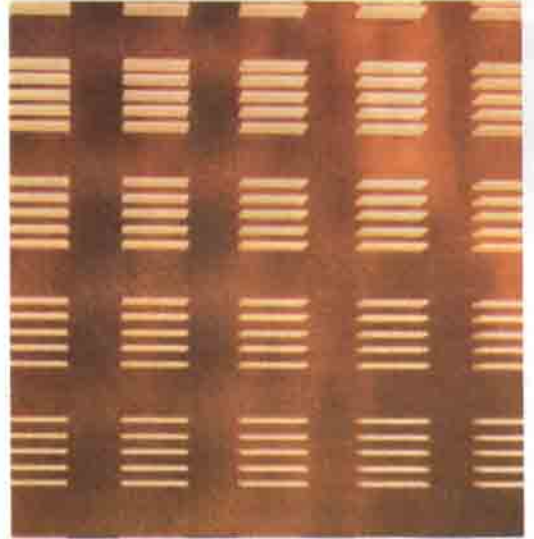
Mikrolensler : Bunlar kolaylıkla ışığa duyarlı camdan yapılabilir. Opal bölgeler mor ötesi ışığa maruz bırakıldıktan(1) ve ısıtıldıktan(2) sonra büzüşürler ve kendisinden oluştukları ana camdan daha yoğun bir biçime girerler. Bir diş macununun tüpü gibi sıkıştırılan cam bölgeleri, kabarak lensler oluştururlar(3). Böyle lensler, kameraların otofokus mekanizmalarında ve fotokopi makinelerinin optik elemanlarında da kullanılmaktadır. Mikrografta gösterilen lensler(4), yüz mikron çapında, yaklaşık olarak insan saç kalınlığındadır.

elektronlarını salmaktadır. Seryumun saldığı elektronlar camın belirli bölümlerinde tuzaklanarak gizli bir görüntü oluşturulmaktadır.

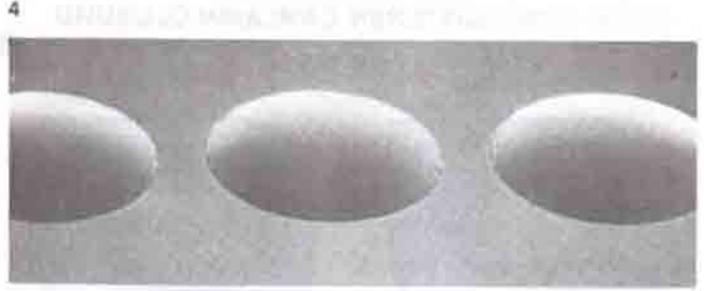
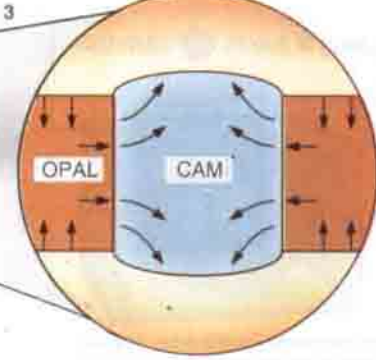
Araştırmacılar camın her tarafında mevcut olduğu sanılan bu yakalama bölgelerinin niteliğini henüz tam anlayamamışlardır. Bu bölgeler fotokromik camlarda da vardır; ancak fotokromik camların kristalçiklerindeki gümüş iyonları ışığa duyarlı camların aksine, elektronları kazanmakta, tuzaklama bölgelerine nazaran daha etkilidirler. Bunun sonucu ola-

otomobil camlarında kullanıma imkânlarını da araştırmaktadırlar; ancak bazı zorluklar henüz giderilmemiştir. Meselâ camlar çevre ısısına duyarlı görünmektedir. Bunun sonucu olarak fotokromik camlar soğuk günlerde sıcak günlerden daha fazla kararmakta ve bu da araba içindeki aydınlanmanın düzensizliğine yol açmaktadır.

Fotokromik camlara bir tezat olarak, ışığa duyarlı camlardaki değişiklik kalıcıdır. Burada da gümüş iyonları fotokimyasal olayların temelini oluşturmaktadır; ama bu camlar üzerinde çalışanlar gümüşe elektron verici olarak bakır yerine seryum kullanıyorlar. Aslında teorik olarak bu iş için başka elemanlar da kullanılabilir. Cam mor ötesi ışıkla aydınlatıldığı vakit, bazı seryum iyonları bir



Uygulama Alanları : Işığa duyarlı camlar, çeşitli alanlarda uygulanabilir. Değişik renkler sağlamak imkânı verdiklerinden, böyle camlar çoğu kere yemek tabakları, bayram süslemesi ve sanat camı işçiliğinde (en solda) kullanılmaktadır. Işık kontrol gibi mimari uygulamalar için, sodyum florür katkı maddesi ile doping-

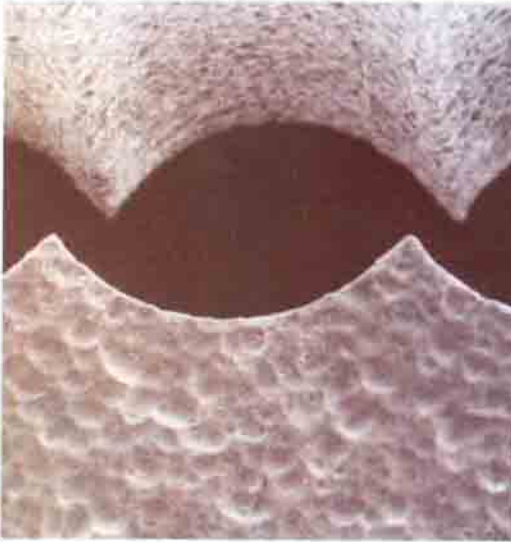


rak, ışığa duyarlı camlarda elektronları, yakalandıkları bu tuzaklardan sökmeye için ısıtma uygulanması gerekir. O takdirde elektronlar camdaki pozitif gümüş iyonları ile birleşebilir. Isıtma aynı zamanda ortaya çıkan nötr gümüş atomlarının toplanmasını sağlar. Bu küçük topraklar, kristallerin üzerlerinde çöktüğü çekirdekler görevini yaparlar. Kristaller ise camda bulunan lityum metasilikat gibi bileşiklerden ya da sodyum florür gibi katkı maddelerinden oluşur. Eğer hayli büyük kristallerden yeter miktarda bir araya gelirse, cam yarısaydam ya da ışık geçirmez opal duruma geçer. Maskelenmiş bölgeler, ışığı geçirgen ve camsı özelliklerini korurlar.

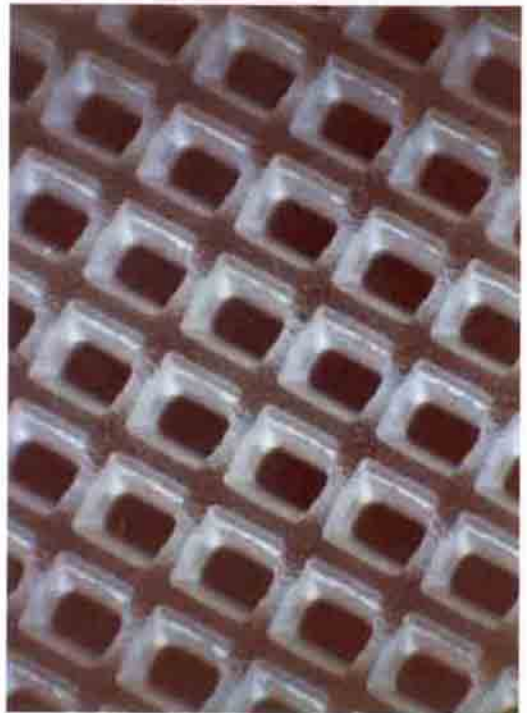
Işığa duyarlı camlar, ilk keşfolundukları zamanki gibi sadece yeni bir fotoğraf malzemesi olmaktan çıkmışlardır. 1980'lerde Corning'ten Nicholas F. Borelli ve David L. Morse, camlardaki kimyasal işlemin mikrolenslerin yapımında da kullanılabileceğini ortaya çıkardılar. Lityum metasilikat opal camı, büzülerek kendisinden

oluşturduğu camdan daha yoğun biçime girer. Bu olay, camın yumuşama noktasına kadar ısıtıldığı zaman meydana gelir. Cam, büzülmeye uyarlanmak için deforme olur. Sıcaklığı ve mor ötesi aydınlatmayı dikkatle ayarlamak suretiyle, camsı bölgelerin deformasyonu denetim altında tutularak lenslerin optik gücü, ayarlanabilmektedir.

1984'te bu makalenin yazarı ve Dennis W. Smith, opal ve camın özelliklerindeki farkın cam üzerinde doğrudan elektrik devreleri oluşturabileceğini bulmuşlardır. İçinde gümüş iyonları bulunan erimiş tuz banyosuna batırılan ve üzerinde opal bir şekil bulunan numunenin, hidrojen atmosferinde ısıtılması ile opal bölgelerde iletken gümüş film oluşmaktadır. Camsı bölgelerde oluşan film ise iletken değildir. Bu olayı henüz ticarî bir uygulama bulamamışsa da, meselâ entegre devreler arasında bir bağlantı sağlamakta kullanılması düşünülebilir. Işığa duyarlı camlar ise aynı zamanda çok ayrıntılı ve karmaşık motifler oluşturabilirler. Bunlar sadece dekoratif süslemelerde, aynı



lenmiş yaklaşık 3,2 milimetre kalınlığında entegre bantlar (ortada, solda) düşünülmüştür. Bu camlar, en sık olarak 0,01 milimetrelük bir hata payı ile 0,38 milimetrelük bir çapı olan cam seramik kanalları biçiminde printer uçlarında (ortada, sağda) ve ışık gösterimlerde pikselleri birbirinden ayırmak için (en sağda) kullanılmaktadır.



İŞİĞA TEPKİ GÖSTEREN CAMLARIN OLUŞUMU

FOTOKROMİK CAMLAR

● GÜMÜŞ ● BAKIR ● SERYUM

MORÖTESİ İŞİK

MORÖTESİ İŞİK



Bakır dopingli bakır halid Kristalcikleri camın her tarafında mevcuttur. Morötesi ışık, bakırın bir elektron (e^-) vermesine sebep olur. Bu da, bir gümüş iyonu tarafından yakalanır.

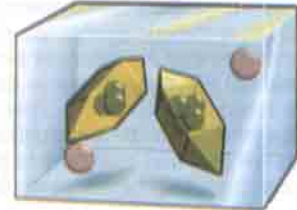
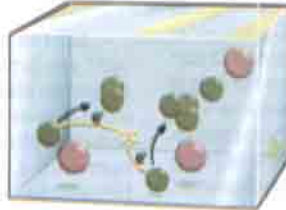
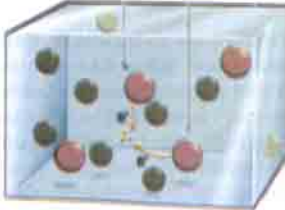
Gümüş iyonları nötrleşir ve küçük benekler biçiminde toplanır. Bu benekler görünür ışığı emerek camı karartır.

Aydınlatmaya son verildiği zaman, bakır elektronlarını yeniden geri alır. Gümüş benekler ışık emmeyen gümüş halid kristalcikli duruma geri döner ve camın rengi açılır.

MORÖTESİ İŞİK

İŞİĞA DUYARLI CAMLAR ISITMA

YÜKSEK DERECEDE ISITMA



Morötesi aydınlatma, elektronları mesele seryum gibi bir kaynaktan söker. Bu elektronlar daha sonra camdaki yakalama bölgelerinde tutulurlar.

Isıtma, elektronları tutuldukları yerden serbest bırakır. Serbest kalan elektronlar, gümüş iyonlarıyla birleşir ve bunlar da bir araya gelip gümüş benekler oluşturur.

Isıtma sürdürülünce, lityum metasilikat ya da sodyum florür kristalleri oluşur. Bu gibi Kristallerin oluştuğu bölgeler, ışık geçirmez opal duruma geçerler.

zamanda teknolojiye, örneğin, fotokanıandırııcı tüplerin ve ışımali göstergelerin içindeki küçük parçaların yapımında kullanılabilir.

Sodyum florür katkı maddesini kullanarak, lityum metasilikatinkinden farklı ışıktan etkilene olayları yaratılabilir. Camla çalışanlar sodyum florür sodyum bromür ile karıştırdıkları zaman, camda bütün renk tayfını ihtiva eden koyu ve çok güzel görünüşlü renkler sağlanabilmektedir.

İlk ısıtma, gümüş çekirdeklerin üzerinde sodyum florür kristallerinin oluşmasını sağlar. Bu kristaller, ısıtmanın devamı sırasında piramit biçimli sodyum bromür kristalciklerinin üzerlerinde büyüyebileceği bir temel vazifesini görürler. Ortaya çıkan kristaller çok seyrek ve çok küçük oldukları için cam opal duruma geçmez, saydamlık özelliğini muhafaza eder. Cam ikinci ve daha şiddetli bir mor ötesi ışığa maruz bırakıldığı ve yeniden ısıtıldığı zaman, daha fazla miktarda gümüş açığa çıkar. Bu gümüş, sodyum bromür piramitlerinin tepesinde uzun ve iğneye benzer benekler şeklinde çöker. Bu benekler görülür ışığı emebilecek kadar iridir. Hepsi aynı biçimde olduğundan, aynı dar dalga bandını emer ve cama parlak bir renk verirler. Mor ötesi ışık yoğunluğundaki değişiklik, gümüş iğnelerin boyutunda farklılığa sebep olur ve dolayısıyla camda birçok renk elde edilebilir. Böyle renklendirilmiş ışığa duyarlı camlar, renk filtrelerinde, yemek takımlarında ve cam süslemelerde kullanılmaktadır.

Geçirimsiz sert, etkileşmez, sıcağa dayanıklı ve yalıtkan olan fotokromik camlarla ışığa duyarlı camlar, fevkalâde işimize yaramaktadır. Buldukları zamandan beri, birçok teknolojik zorlukların aşılması bu camlar sayesinde mümkün olmuştur.

Scientific American (April 1991)'den kısaltarak çev.: Dr. Ergin KORUR

