



Makale / Research Paper

Akıllı Camlar ve Teknolojik Gelişimleri

Cem AÇIKSARI^{1,2}, Bekir KARASU²

¹TUPRAS R&D Center, Kocaeli, TÜRKİYE

²Anadolu University, Engineering Faculty, Department of Materials Science and Engineering, 26555, Eskişehir
TÜRKİYE

bkarasu@anadolu.edu.tr

Received/Geliş: 22.02.2018

Revised/Düzeltilme: 13.04.2018

Accepted/Kabul: 24.04.2018

Öz: Akıllı camlar, kendi kendine güç üreten, şeffaflıktan opaklığa geçiş kabiliyeti gösteren, foto-voltaikler, elektro-kromikler, çatı pencereleri, gözlük camı, iç mekân işaretleri ya da gösterge panelleri gibi pek çok ürün grubunu kapsamakta olup binalarda, araçlarda (kara, deniz ve hava), iç mekân öğeleri şeklinde çeşitli yapılarda kullanılmaktadırlar. Görünümünü değiştirebilen akıllı camlar çok amaçlı kullanımlara hizmet edebilmekte, kullanıcıların bir dokunuşuyla beklentilere cevap verebilmektedirler. Objeleri görsel tanıma yetisi sergileyen ve yazıyı konuşmaya dökülebilen teknolojileri kullanan akıllı camların çok yakın gelecekte görme engelli insanların hayatını daha da kolay ve konforlu hale getirmeleri beklenmektedir. Akıllı camlar, ilk etapta tıp alanı açısından geliştirilmemiş olsalarda artık tıbben de değerlendirilmektedirler. Bu makalede, akıllı camlar hakkında genel bilgiler verilmekte, tarihsel yolculukları, sınıflandırılmaları, türleri, üretim yöntemleri, temel özellikleri, kullanım alanları ve son dönem çalışmaları ve gelişimleri üzerine bilgilendirmeler sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Akıllı cam, Tarihçe, Süreç, Özellikler, Uygulama, Gelişim

Smart Glasses and Their Technological Developments

Abstract: Smart glasses cover certain groups of products, such as photovoltaics and electrochromics to produce a self-powered, self-dimming window, skylight, eyewear, indoor signage or display where can be evaluated in buildings (commercial and residential), vehicles (land, sea and air), interior partitions and structures and eyewear. Switchable smart glasses illuminate environments, leading to multifunctional spaces adapting and responding to the requirements of users at the flick of a switch. Those employing visual object recognition and text-to-speech technologies could soon be expected to help blind people navigate independently. Although most smart glasses were not initially targeted at healthcare, they have been already implemented in multiple different medical applications. In general, such devices can be utilized whenever a screen or external monitor is already required. Head mounted displays can be evaluated for very basic purposes such as education, simulation, live streaming of visualized data to more interactive functions such as video recording and digital photo documentation, for tele-medicine, tele-mentoring and many others. Hereby, general knowledge about smart glasses, their historical background, classifications, types, production processes, major properties, usage fields and latest studies and developments are given.

Keywords: Smart glass, History, Process, Properties, Application, Development

1. Giriş

Cam, genellikle şeffaf özelliğe sahip, kristal olmayan (amorf) katı malzemeler grubunda sınıflandırılan, birçok geleneksel ve teknolojik uygulamada kendisine geniş yer bulan, oldukça önemli bir malzemedir. Camın tarihsel gelişimi incelendiğinde, şekillendirilen ilk cam esaslı malzemenin MÖ 3500'lü yıllarda, Doğu Mezopotamya ve Mısır çevresinde bulunduğu bilinmektedir [1]. Günümüze kadar uzanan süreçte, özellikle 1950 ve sonrasında, birçok alanda

Bu makaleye atıf yapmak için

Açıksarı, C., Karasu, B., "Akıllı Camlar ve Teknolojik Gelişimleri", El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 2018, 5(2); 437-457

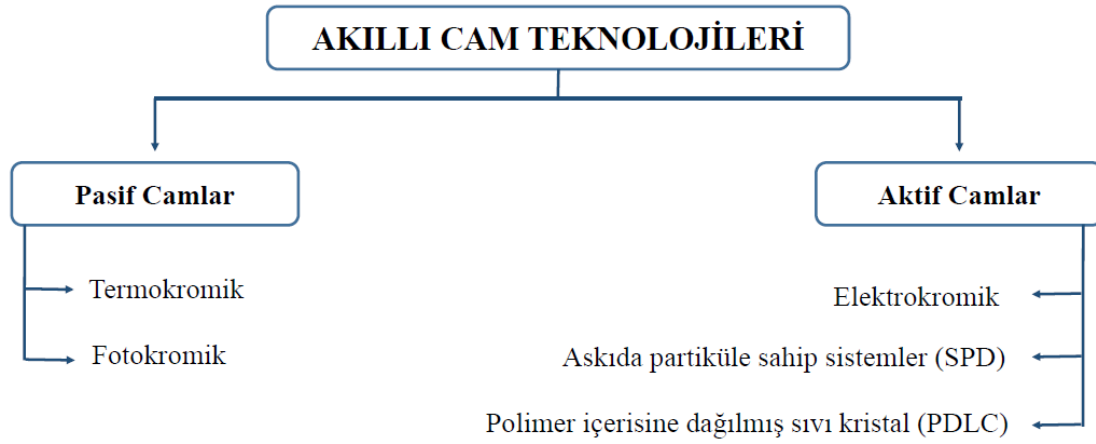
How to cite this article.

Açıksarı, C., Karasu, B., "Smart Glasses and Their Technological Developments", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2018, 5(2); 437-457

olduğu gibi cam esaslı malzemelerde de yoğun teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Bunların en önemlilerinden biri, camsı malzemeye elektrik, ışık ya da ısı gibi bir potansiyel uygulandığında ışık geçirgenliği özelliklerinin değiştiği, akıllı ya da değişebilir cam olarak adlandırılan malzeme grubunun hayatımıza girmesidir. Genel olarak, camın optik özelliklerindeki değişim, yarı geçirgen–geçirgen geçişi gibi, ışığın dalga boylarının bazılarının engellenmesi ve diğerlerinin geçişine izin verilmesi ile gerçekleşir. Böylesi camlar yüksek mor (UV) ve kızıl ötesi (IR) ışın engelleme özellikleri sayesinde hem sağlıklı hemde ekonomiktirler.

2. Akıllı Camların Sınıflandırılması

Akıllı cam teknolojileri iki ana grup halinde sınıflandırılabilir: Pasif ve aktif akıllı camlar [2]. Pasif camlar elektriksel olmayan uyarılara, aktifler ise elektriksel uyarılara tepki verirler, dolayısıyla da kontrol edilebilir özellik taşırlar. Şekil 1’de akıllı cam teknolojilerinin ayrıntılı bir biçimde sınıflandırılması sunulmuştur. Pasif camlar; ısı ile tepkime veren termo–kromik ve ışık ile tepki veren foto–kromik şeklinde 2’ye ayrılırlar. Aktif camlar ise; elektro–kromik, askıda taneciklere sahip sistemler (SPD–Suspended Particle Device), polimer içerisine dağılmış sıvı kristal (PDLC–Polymer Dispersed Liquid Crystal) olarak 3 grupta incelenmektedirler (Şekil 1) [2–5].



Şekil 1. Akıllı cam teknolojilerinin sınıflandırılması [2].

2.1. Pasif Camlar

2.1.1. Termo–kromik camlar

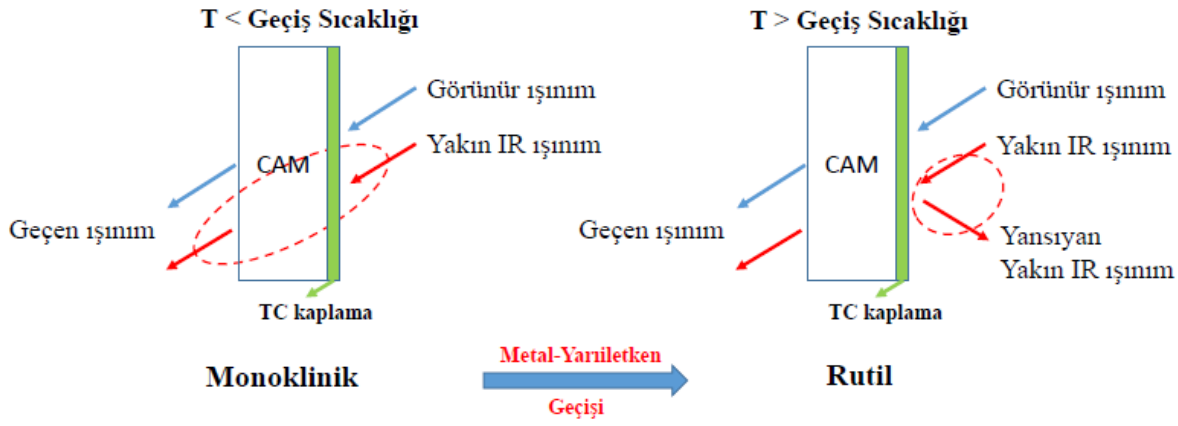
Termo–kromik kelimesi, Yunancada “Thermos” ve “Chroma” köklerinin bir araya gelmesi ile oluşmuştur. “Thermos” ılık ya da sıcak, “Chroma” ise renk anlamı taşımaktadır. Genelde termo–kromik (TC) malzemeler, sıcaklık değişimine bağlı biçimde renk değiştiren malzemeler şeklinde tanımlanabilir. Şekil 2’de akıllı bir binaya uygulanmış, termo–kromik özelliğe sahip pencere kaplama örneği sunulmaktadır [6].

Termo–kromik (TC) kaplamalar başlangıçta, düşük sıcaklıklarda (genellikle oda sıcaklığı) monoklinik fazdadır. Bu, soğuk durum şeklinde tanımlanır. Sıcaklığın belirli bir değerin üzerine çıkması ile birlikte TC kaplama malzemesi rutil fazına geçer (sıcak durum). Malzemenin elektronik yapısında böylesi bir değişim metal–yarı iletken geçişi olarak tanımlanır (Şekil 3) [7].



Şekil 2. Termo-kromik kaplı camın farklı sıcaklıklardaki renk geçişi [6].

Birçok inorganik esaslı malzeme sıcaklığa bağlı renk çeşitliliği sergilemektedir. Farklı sıcaklıklarda elektronik özelliklerdeki değişim termo-kromik etkiden kaynaklanır. Bazı oksit esaslı malzemeler, VO₂ gibi, sıcaklıkla birlikte belirgin renk ve elektronik özellik değişimi gösterirler. En çok bilinen TC kaplama malzemesi VO₂ esaslı olandır [8]. Monoklinik rutil faz değişim sıcaklığı 68 °C'dir. Katkı malzemeleri (F, W vb.) ile geçiş sıcaklığı ve termo-kromik etkinin iyileştirildiği literatürde verilmektedir [9–10].

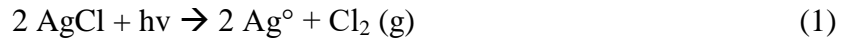


Şekil 3. Akıllı cam kaplaması olarak uygulanmış termo-kromik malzemenin şematik gösterimi [7].

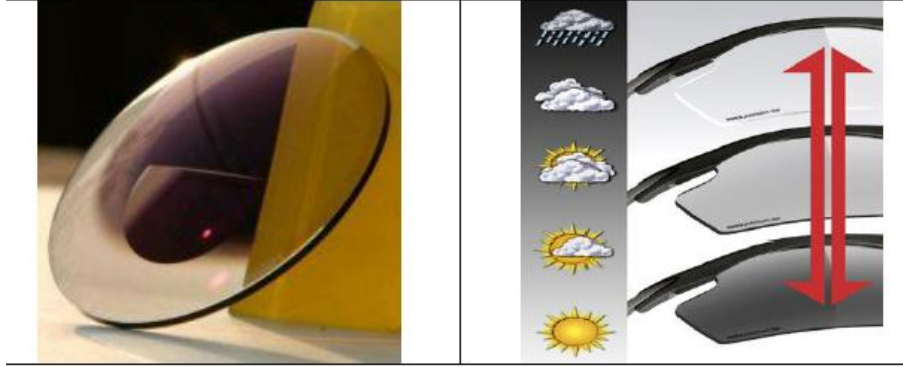
TC film kaplamaları, sol-jel [11–13], sıçratma [14–15], fiziksel buhar biriktirme (PVD) [16–17] ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) [18–19] gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Bunların arasında PVD ve CVD, kaplama özelliklerinin (film kalınlığı, faz dağılımı, tane boyutu vb.) kontrol edilebilirliği ve büyük ölçekli üretime imkân tanımaları açısından en uygun yöntemlerdir. Fakat ekipmanların ve süreçlerin pahalılığı en büyük dezavantajlarıdır. Daha ucuz donanım ve kaplama süreçlerinin tasarımıyla söz konusu problemlerin üstesinden gelmek için çalışmalar süratle devam etmektedir [20].

2.1.2. Foto-kromik camlar

Bu grup camlar, güneş ya da mor ötesi ışınlarına maruz bırakıldıklarında kararır. Malzeme-ışın etkileşimi sona erdiğinde de foto-kromik cam kaplama beyazlar. Foto-kromik özellik tersinirdir. Ticari foto-kromik camlar genellikle alkali borosilikat camlarının az miktarda AgCl (ağırlıkça % 0,2–0,7) katkısıyla üretilmiştir [21].



Ergitme ve döküm sonrası ısıl işlem uygulanmasıyla meydana gelen AgCl kristallerinin boyutu yaklaşık 10 nm kadardır. Burada foto-kromik kaplama, UV içeren ışına maruz kaldığında Ag° 'a indirgenir ve görünür ışığı adsorplar (Şekil 4) [21].

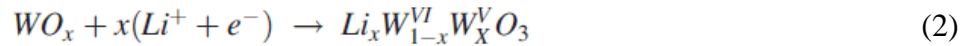


Şekil 4. Foto-kromik cam kaplama örnekleri [22].

2.2. Aktif Camlar

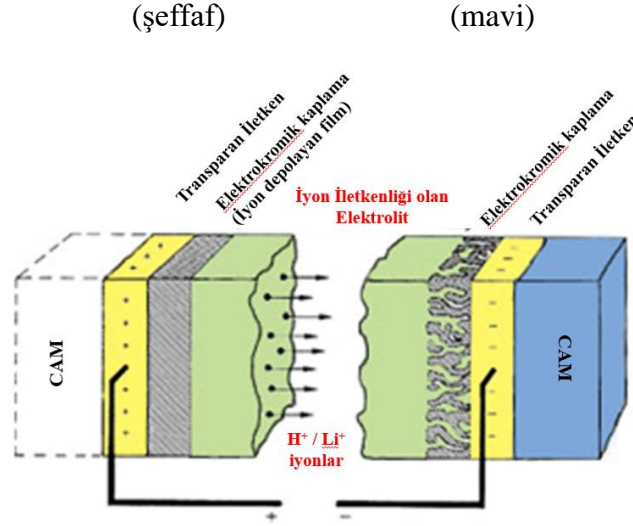
2.2.1. Elektro-Kromik Camlar

Elektro-kromizm, sisteme iyon eklenmesi ya da çıkarılması, elektrik alan gibi bir dış etki uygulandığında malzemenin optik özelliklerinde ortaya çıkan tersinir değişim olarak tanımlanmaktadır [23]. Cam üzerine applike edilmiş elektro-kromik (EC) kaplamalar, uygulanan elektrik akımı ile malzeme-ışık etkileşiminin (yansıma, geçirim, absorlanma vb.) kontrol edilebilirliğine izin vermektedir [2, 23]. EC akıllı cam tasarımını gösteren Şekil 5'e göre, elektro-kromik aygıtlar 2 cam altlık arasında farklı kalınlıklardaki tabakaların yerleştirilmesiyle elde edilmektedir. Merkezdeki tabaka H^+ ya da Li^+ gibi küçük iyonların hareketini sağlayan iyonik iletken oluşmaktadır. Bu tabaka elektro-kromik ve iyon depolayan filmlerle kaplanmaktadır. Temas halinde üretilen bu 3 tabaka daha sonra şeffaf, iletken 2 tabaka arasında sıkıştırılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda; genellikle yapısal olarak n-tipi yarı iletken doğasından ve dolayısıyla kontrol edilebilir optik ve elektronik özellikleri sayesinde şeffaf ve iletken ITO ($In_2O_3:SnO_2$), elektro-kromik film kaplama ise WO_x esaslı malzemelerden oluşmaktadır [3, 24–25]. Şeffaf iletken malzemeler üzerinden elektrik akım uygulandığında (Şekil 5), iyonlar iyon depolayan film ve elektro-kromik film arasında taşınırlar. Böylece, camın optik özellikleri değişir. Uygulanan voltajın kontrolüyle malzemenin optik özellikleri de elektronik seviyede kontrol edilebilir. Elektrik akımı kaldırıldığında cam orijinal formuna, (şeffaf vb.) döner. Söz konusu durum elektro-kromik kaplama olarak kullanılan metal oksit malzemenin (WO_x gibi) elektronik yapısıyla doğrudan alakalıdır ve farklı redoks durumları, karakteristik absorpsiyon spektrumları vermektedir [2, 26]:



Tungsten oksit kübik yapıdadır ve boşluklar içermektedir. Bu boşluklar, eklenen iyonlar için ara yer boşluklarını oluşturmasına izin vermektedir. Yapı içerisine giren metal katyonu ve elektronlar tungsten atomunun değerliğini etkiler. Yer değiştiren iyonlar tungsten oksit kafesini (latisini) genişletir ve elektronik yapının modifikasyonuna, dolayısıyla da, optik özelliklerin değişimine katkı sağlar [2, 26–27]. Temelde 2 farklı elektro-kromik cam çeşidi mevcuttur: Katodik-sisteme iyon katkısı ile renk değiştirenler ve anodik-sistemden iyon uzaklaştırılması ile renk değiştirenler. Şekil 6'da katodik ve anodik elektro-kromik özellik sergileyen oksitlerin metalleri gösterilmiştir [27–28]. Burada, vanadyum esaslı oksitler farklı olarak hibrid davranış sergilemektedirler [28]. En yaygın kullanılan ve literatüre göre epeyce çalışılan elektro-kromatik malzeme grubu tungsten oksit

esaslardır. EC film kaplama malzemeleri, ısı buharlaştırma [29–30], sıçratma [30–31], kimyasal buhar biriktirme [32–34], sol-jel [35–38] gibi yöntemlerle üretilmektedir. Tungsten oksit dışında en çok kullanılan ve araştırılan malzemeler NiO:X (X: Mg, Al, Si, V, Ag, Li vb.), IrO₂:X (X: Ta), Nb₂O₅:X (X: Sn, Zr, Ti, Li, Mo vb.) esaslıdır [23]. Ayrıca, polianilin, poli (3, 4-eten-dioksitofen)-PEDOT gibi polimerik malzemeler de elektro-kromik kaplamalarda kullanılmaktadır [23].



Şekil 5. Elektro-kromik akıllı cam tasarımı [2].

Elektrokromik Oksitler

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

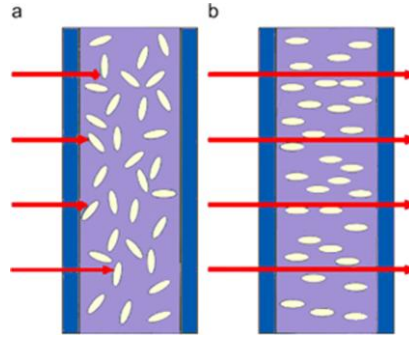
Katodik (diagonal çizgi) ve Anodik (diagonal çizgi) olarak gösterilmiştir.

Şekil 6. Katodik ve anodik elektro-kromizm gösteren oksit metalllerinin periyodik sistemde gösterimi [28].

2.2.2. Askıda taneciklere sahip sistemler (SPD)

Askıda taneciklere sahip ya da elektro-foretik camlar, elektro-kromik camlar gibi, elektriksel potansiyel uygulandığında optik özellikleri değişen akıllı camlardır. Böylesi camlar genellikle 3 tabakadan oluşur: Merkez tabakada organik bir akışkanın içerisinde iğnemi şekilli tanecikler askıda kalmaktadır. Tanecikler genellikle poliyodit ya da parafatittir. Merkez tabakanın iki paralel şeffaf iletkenin arasına yerleştirilmesiyle aygıt tamamlanmış olur. Şekil 7'de askıda taneciklere sahip aygıtın şematik gösterimi bulunmaktadır [2, 4]. Voltaj uygulandığında, rastgele duran polimerik tanecikler minimum enerji düzeyine geçerek yeniden düzenlenip cam arasından ışık geçişine olanak tanır [2, 39]. Bu tip akıllı cam sistemlerinde gerekli voltaj 20–150 V aralığında ve cam kalınlığına bağlı olarak değişmektedir [2]. Elektro-kromik akıllı camlar voltaj uygulanmasa bile şeffaftırlar ancak, askıda tanecik içeren sistemler değildirler. Söz konusu özelliklerinden dolayı,

akıllı cam piyasasında elektro–kromik akıllı camlar hala baskındır. Şekil 8’de bir binada kullanılan SPD akıllı cam sistemi uygulama örneği takdim edilmiştir.



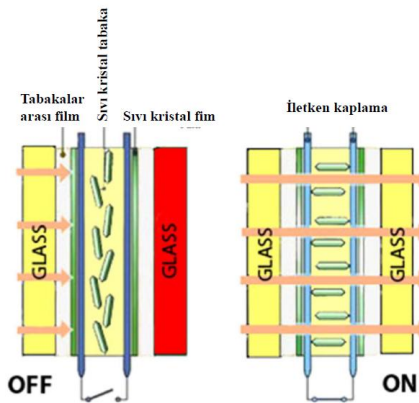
Şekil 7. Askıda tanecikler içeren akıllı cam (a) voltaj uygulanmamış, (b) voltaj uygulanmış [2, 4].

2.2.3. Polimer içerisine dağılmış sıvı kristal içeren akıllı camlar (PDLC)

PDLC akıllı camlarında, elektro–kromik ve askıda tanecik içeren sistemler gibi, elektriksel potansiyel uygulandığında optik özelliklerinde değişim görülmektedir. Son dönemde PDLC sistemleri üzerine yapılan çalışmalar oldukça hız kazanmıştır [2]. PDLC akıllı camları SPD gibi genellikle 3 tabaka içerir: Merkez tabaka, polimer matris (konak) içerisine gömülmüş sıvı kristal tanelerini içermektedir. Söz konusu tabaka daha sonra iki şeffaf iletken filmin arasına konur ve 3 tabakalı bu sistem cam altlık üzerine yerleştirilerek PDLC esaslı aygıt oluşturulur. Şekil 9’da şematik PDLC akıllı cam sistemi sunulmuştur [5]. PDLC akıllı camlarının çalışma mekanizması SPD sistemine benzemektedir. Elektrotlar arasına elektriksel potansiyel uygulandığında optik özellikler değişir. Voltaj uygulanmadığında sıvı kristaller polimer konak içerisinde rastgele dizilmiştir ve sistem ışık altında opaktır. Düşük voltaj uygulandığında bile, sıvı kristaller yönlenecek ışık geçişine izin verilir. Böylece, akıllı cam sistemi şeffaf hal alır.



Şekil 8. Binalarda uygulanan SPD örneği (A) voltaj uygulanmamış, (B) voltaj uygulanmış [40].



Şekil 9. Polimer içerisine dağılmış sıvı kristal içeren akıllı cam tasarımı: **ON**–voltaj uygulanmış, **OFF**–voltaj uygulanmamış [5].

Optik özelliklerin değişimine yardımcı olan voltaj şiddeti, cam sisteminin kalınlığına ve polimer konak tipine bağlıdır [41]. Şekil 10'dan bir ofise uygulanmış PDLC akıllı cam sistemi örneği görülebilir.

3. Uygulama Alanları

Akıllı cam teknolojileri en fazla inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Günümüzde artan enerji talebine ve enerji kaynaklarındaki sorunlara bağlı olarak enerjinin en verimli şekilde değerlendirilmesi büyük önem arz etmekte, ayrıca, yaşam ve çalışma alanlarındaki konfor insanlar tarafından daha çok tercih edilmektedir. Dolayısıyla, akıllı cam teknolojilerinin (özellikle elektro-kromik cam kaplamaları) en çok tercih edildiği alanlar bina uygulamalarıdır [2, 43].

Kullanımları sınırlı olmasına rağmen, akıllı camların bir diğer uygulama alanı havacılık ve uzay sanayisidir. Uçakların farklı irtifalarda seyretilmelerinden dolayı maruz kaldıkları güneş ışını seviyeleri de değişir. Yolcuların daha konforlu uçuşları için akıllı cam teknolojilerinin özellikle Boeing ve Airbus gibi dünyaca ünlü firmalar tarafından uçaklarında kullanımı yaygınlaşmıştır. Örnek olarak Boeing 787 Dreamliner ve Airbus A380 modelleri verilebilir [2, 43]. Akıllı cam teknolojilerinin bir diğer uygulama alanı ise otomotiv sektörüdür. Toyota, Gentex, Donnelly, Ichikoh gibi sektör oyuncuları üreticilere araçlarda kullanılan aynalar için akıllı cam teknolojisine sahip malzemeleri sağlamaktadır. Otomobillerdeki geleneksel aynalarda ışığın farklı açılarda yansımaları şoföre ve çevresindekilere rahatsızlık verebilmektedir. Bu yüzden akıllı cam teknolojileri otomotiv endüstrisinde güvenlik açısından oldukça kritik önem taşımaktadır [2, 43].



Şekil 10. Bir ofise uygulanmış PDLC akıllı cam sistemi örneği [42].

Günümüzde akıllı camlarla ekran teknolojilerinde de karşılaşmaktayız. Teknolojik yönelimle birlikte cep telefonları, tabletler ve bilgisayarlarda akıllı cam kaplama teknolojileri oldukça yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Benzer şekilde büyük ölçekli dijital göstergelerde OLED (Organic Light Emitting Diodes) ve aktif konak sıvı kristal teknolojilerinden faydalanılmaktadır [2, 44]. Şekil 11'de binalarda, havacılık ve uzay endüstrisinde ve otomobillerdeki akıllı cam sistemlerine örnekler sunulmuştur [45].

Akıllı camların diğer kullanım alanlarına dair bilgilendirmelere son dönem çalışmaları başlığı altında yer verilmiştir.

4. Bazı Akıllı Cam Sistem Üreticileri

Akıllı cam teknolojileri 1970–1980 yılları arasında ortaya çıkmıştır. İlk yıllarda teknolojiye ileriye yavaş olsa da 1980 ve sonrasında malzeme teknolojilerindeki gelişmeler, binalardaki enerji düzenlemeleri ve enerjiye alternatif çözüm ihtiyaçları ile birlikte hızlanmıştır. Akıllı camlar, son

20 yıllık süreçte inşaat, havacılık, uzay ve otomotiv endüstrilerinde enerjinin daha verimli kullanımı amacıyla piyasadaki yerini almaya başlamıştır [23].



Şekil 11. Binalarda, havacılık ve uzay endüstrisinde ve otomobillerde kullanılan akıllı camlar [45].

Çizelge 1’de ticari olarak satılan akıllı camların bazı üreticilerine, uygulama örneklerine, ürün isimlerine ve çeşitli teknik özelliklerine yer verilmiştir.

5. Son Dönem Çalışmaları

Kayda değer araştırmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur:

Deb, akıllı pencere uygulamaları için foto-voltaik entegre edilmiş elektro-kromik aygıtlar üzerine araştırmalar yapmış [53] ve Naftaly ve ark., 589 nm fiber lazeri için Pr^{+3} -katkılı flüorür camını incelemişlerdir [54]. Auch ve ark., esnek ekran uygulamaları açısından ultra-ince cam üzerine araştırmalar gerçekleştirmişler [55] ve Purvis, çeşitli teknolojik uygulamalar bakımından nano-teknoloji, standartlar ve akıllı malzemeler hakkında bilgiler sunmuştur [56]. Cui ve ark., tunsten oksidin (WO_3) şeffaflığını kontrol edebilmek ereğiyle akıllı camların elektro-kromik kaplamaları üzerinde durmuşlardır [57]. Jonsson ve ark., akıllı ekran uygulamaları açısından tabakalı elektro-kromik aygıtların izotermal, kısa süreli akım çalışmasını gerçekleştirmişlerdir [58].


Nitz ve Hartwig, organik termo-tropik sisteme ait tabakalarla güneş panelinin kontrolünü sağlamaya çalışmışlardır [59]. Syrrakou ve ark., elektro-kromik pencere camının eko-verimliliği üzerinde durmuşlar [60] ve Ujiie ve ark., amonyum birimleri içeren termo-tropik sıvı kristal sistemlerle camsı hali oryante etmeye uğraşmışlardır [61]. Karuppasamy ve Subrahmanyam, titanyum katkı WO_3 ince film esaslı elektro-kromik akıllı paneller üzerine araştırmalar gerçekleştirmişlerdir [62].

Story ve ark., katı oksit elektroliz cihazı (elektrolizer) ve yakıt hücrelerinin sızdırmazlık contasındaki ısıl genişleme uyumsuzluğundan kaynaklanan düşük, uzun dönem dayanımını iyileştirmek üzere $TiNiHf$ alaşımı ve cam kompozit sızdırmazlığını irdelemişler [63] ve Tajima ve ark., ayna camları için $WO_3/ITO/cam$ altlık üzerine çok katlı $Mg_4Ni/Pd/Ta_2O_5$ yapısını aktif DC ve RF magnetron saçınım yoluyla oluşturmaya gayret sarf etmişlerdir [64].

Cupelli ve ark., polimer dağılımlı sıvı kristal esaslı, kendi kendini ayarlayabilen akıllı camları incelemişler [65], Matthews ve ark., düz cam ekran, foto-voltaik ve optik kaplama uygulamalarında kullanılan magnetron teknolojisi açısından önemli yeni hedef malzemelerini geliştirmeye özen göstermişler [66], Couto ve ark., biyo-aktif cam nano-taneciklerini içeren, enjekte edilebilir, çitosan- β -gliserofosfat tuzu esaslı, biyo-aktif ve biyo-bozunur sistemleri geliştirmek için

uğraşmışlar [67] ve Gu ve ark., mikro–cihazlara hidro–jel uygulaması bağlamında cam–ısıll hassas hidro–jel nüfuzunu irdelemişlerdir [68].

Tablo 1. Bazı ticari akıllı cam üreticileri, uygulama örnekleri, ürün isimleri ve teknik özellikleri

Üretici Firma	Uygulama Örneği	Ürün Adı	Kararlılık	Maks. Boyut (cm ²)	Elektrik Talebi	Yorum
SAGE Electrochromics [45]		Classic™, See Green™, Clear-as-Day™	30 yıl, -30–60°C	108x150	5V DC	Bina uygulamaları
EControl–Glass GmbH [46]		EControl–Double Glass EControl–Triple Glass	–	120x220	5V DC	Bina uygulamaları–WO ₃ esaslı
Saint Gobain Sekurit [47]		SGS EC cam	-25–90 °C	180x300	–	Otomobil uygulamaları
Smart Glass International Ltd [48]	–	LC Smart Glass™	12 yıl, -20–50 °C	100x290	65–110 V AC	PDLC uygulamaları
Dream Glass [49]		Dream Glass V1 Dream Glass V2	-10–50 °C, 0–65 °C	100x390	60–80V 100–120V AC	Sıvı kristal aygıt
Saint–Gobain Glass [50]		Priva–Lite 55.2 (11 mm) Priva–Lite 55.2 (28 mm)	-20–60 °C	100x280	230V AC	–
Nippon Sheet Glass Co. [51]	–	UMU™	-20–60 °C	180x275	100V AC	Otomobil ve bina uygulamaları
Research Frontiers [52]		SPD Smart™	12 yıl, -20–60 °C	100x280	65–110V AC	SPD sistem

Piccolo, binalarda güneş kontrolü açısından bir elektro–kromik camın performansını değerlendirmek ereğiyle deneysel testler ve bilgisayar simülasyonu modellemiş [69], Beatens ve ark., yayımladıkları bir derleme yazısında elektro–kromik, gaso–kromik, sıvı kristal, elektro–foretik ya da asıllı tanecikli aygıtları inceleyip binalardaki dinamik gün ışığı ve güneş enerjisi kontrolü açısından birbirleriyle karşılaştırmışlar [70] ve Jonsson ve Roos, bilgisayar simülasyonlarını kullanarak farklı, akıllı pencere kombinasyonları açısından kontrol stratejilerini değerlendirmişlerdir [71].

Chen ve ark., iç mekânlarda sağladıkları çevre kontrolüyle yaşam kalitesini arttıran HCRI–BIPV akıllı pencereleri incelemiştir [72], Kiri ve ark., akıllı pencereler için termo–kromik flor katkı, vanadyum dioksit ince filmlerini çalışmışlar [73], Chen ve ark., akıllı pencereler için VO₂–esaslı çift–tabakalı filmleri optik tasarım, hazırlama ve iyileştirilmiş özellikler bakımından araştırmışlar [74], Kalagi ve ark., akıllı pencere uygulamaları ve kolorimetrik analizleri için, çift ve bütünlük inorganik–organik elektro–kromik aygıt sınırlamalarına dair bir rapor hazırlamışlar [75] ve Tajima ve ark., Mg–Ni ince film esaslı elektro–kromik aynaların dayanımını iyileştirmek üzere polivinil klorür sızdırmazlık tabakasını çalışmışlardır [76].

Huang ve ark., solar hücre modülü ve kendi gücünü sağlayan akıllı cam uygulamaları bakımından foto–voltaik, elektro–kromik cihazların üzerinde durmuşlar [77], Dussault ve ark., araştırmalarında binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma açısından tükettikleri enerjiyi azaltmak amacıyla akıllı pencereleri incelemiştir [78], Andrade ve ark., akıllı beyaz–ışık aygıtları için, garnet yapılı, Ce–katkılı, düşük silika–kalsiyum–alüminosilikat (LSCAS) camının ayarlanabilir ışık yayılımı ve renk değişimi üzerine bir rapor hazırlamışlar [79], Chen ve Jheng, logo–tipi, seçilmiş elektro–kromik cam ekran üretmişler [80], Chen ve ark., nano–yapılı, VO₂ ince film esaslı akıllı cam kaplamayla ilgilenmişler [81], Gesheva ve ark., bina ve arabalarda güneş ışınıyla gelen ısı akışını kontrol eden, enerji verimliliğinin yanı sıra konfor da sağlayan akıllı camların elektro–kromik performansları bakımından geçiş metal oksit filmleri üzerinde araştırmalar yapmışlar [82], Huang ve ark., yeni, ayarlanabilir, foto–voltaik, elektro–kromik, aygıt ve modül geliştirmişler [83], Rodrigues ve ark., özellikle ileri piller, sensörler (algılayıcılar), elektro–kromik ve elektro–kimyasal aygıtların üretiminde önem arz eden katı polimer elektrotların potansiyel teknolojik etkilerine vurgu yaparak lityum perklorat (LiClO₄) katkı di–üretan çapraz bağlı poli (ε–kaprolakton)(PCL)/siloksan hibrid matris esaslı bir elektrolit sistemini karakterize etmişler [84], Sbar ve ark., voltaj uygulanarak binaya giren güneş enerjisini uyarlayan, dinamik, elektro–kromik pencereleri çalışmışlar [85], Ye ve ark., enerji tasarruf performansı açısından 3 pencere modelini inceleyip enerji tüketim indisini tanımlamışlar [86], Yeşilay ve Karasu, duvar karosu vetroza sırlarında, belli dalga boyundaki ışığı soğurarak karanlık ortamda fosfor ışıklık sağlayan sırlarla ilgilenmişler [87], fosfor ışıl özellikli cam ve seramikler hakkında bilgilendirmelerde bulunmuşlar [88] ve El Kazazz ve ark., Pr₆O₁₁–katkılı SrAl₂O₄:Eu⁺², Dy⁺³, Y⁺³ sarımsı–yeşil fosforların üretimini gerçekleştirip artistik camlardaki uygulamalarını rapor etmişlerdir [89].

Ko ve ark., gümüş iyonlarını belirlemek için kolorimetrik kimyasal sensör (algılayıcı) olarak kullanılan akıllı cam altlık üzerinde araştırmalar yapmışlar [90], You ve Steckl, akıllı panel uygulamaları açısından sabit cam ve esnek polimer altlık yüzeylerinde çok yönlü elektro–ıslatma dizimlerini üretmişler [91], Wuryandari ve ark., sensörler yardımıyla kendi kendine sürüş yeteneğine sahip akıllı arabalarda sensör bilgilerinin bilgisayara, oradan da gösterge paneline aktarılması hususunda bir makaleyi kaleme almışlar [92], Cannavale ve ark., binalardaki hareketli güneş paneli kontrolü için foto–voltaik–kromik aygıtlar üzerine çeşitli araştırmalara imza atmışlardır [93]. Biyolojik açıdan ilham alınmış akıllı malzemeler üzerine bir makaleye yer verilmiş [94], Tonooka ve Kikuchi, radyo frekansı saçınım yöntemiyle akıllı cam altlık yüzeylerinde süper su sever ve güneş ısını yansıtan kaplamalar elde etmişler [95], Li ve ark., akıllı cam uygulamaları için dikdörtgen ve tabakamsı VO₂(M)@SiO₂ nano–taneciklerini sentezleyip üretmiş ve karakterize etmişler [96], Bodurov ve ark., atmosferik basınç kimyasal buhar birikim yöntemiyle iletken cam altlık yüzeylerinde karışık W–V–O filmlerini oluşturup incelemiştir [97], Papageorgas ve ark., kablolu ve kablosuz algılayıcı ağ esaslı foto–voltaik panelleri yerinde gözlemlemişler [98], Ma ve ark., Tayvan’ın enerji–akıllı foto–voltaik endüstrisinde teknoloji seçiminin nasıl yapıldığını yayına dökmüşler [99], Tajima ve ark., çevre koşullarına dayanım bakımından Si katkı, elmasımsı karbon filmle kaplı, elektro–kromik, oynar ayna camını çalışmışlar [100], Souza ve ark., beyaz LED teknolojisi uygulamasında kullanılmak üzere, rengi ayarlanabilir, yeşil–sarı–portakal–kırmızı, Er⁺³/Eu⁺³–katkılı PbGeO₃:PbF₂:CdF₂ cam fosforunu incelemiştir [101], Carvalho ve ark., dış uygulamalarında başvuru biyo–aktif cam nano–tanecikleri hakkında detay bilgiler sunmuşlar

[102] ve Lizin ve ark., organik, foto-voltaik güneş paneli hücreleri hakkında bilgilendirmeler yapmışlardır [103].

Montemor, özellikle metalik altlıkların yenim (korozyon) direncini arttırmak için geliştirilen işlevsel ve akıllı kaplamaları bir derleme yazısı haline getirmiş [104], Yi ve ark., elektro-statik esnek film esaslı akıllı camlarda dielektrik tabakası kalınlığının farklı sıcaklıklarda işlem voltajı üzerindeki etkisini araştırmışlar [105], Ramadan ve ark., akıllı cam uygulamaları için önem arz eden, jelatin-esaslı katı elektroliti hazırlayıp, karakterize etmiş ve küçük bir elektro-kromik ağıta uygulamışlar [106], Skaff ve Gosselin, gökdelenler ve ticari binaların havalandırılmalı pencerelerini enerji performansları açısından analiz etmişler [107], Madida ve ark., bir polivinil fenol polimer konağına emdirilmiş, kızıl ötesi ışınlar bakımından aktif, mikron-altı VO₂ taneciklerinin bulunduğu kararlı termo-kromik kompozit kaplamaların sentezini gerçekleştirmişler [108], Kontziampasis ve ark., yağ sevmez, poli metil metakrilat (PMMA) tabakaları yada böylesi tabakalarla kaplı cam yüzeylerini kabalaştırmak için plazma dağlama yöntemini kullanmışlar [109], More ve ark., akıllı cam uygulamalarında nano-granüler tungsten oksit ince filmlerinin elektro-birikimini çalışmışlar [110], Chu ve ark., magnetron saçınım teknolojisiyle VO₂/AZO çift-tabaka filmlerini cam yüzeyine başarılı bir biçimde kaplayıp karakterize etmişler [111], Meher ve Balakrishnan, kendi kendini temizleyebilen akıllı cam uygulamaları için önemli nano-kristalin anataz TiO₂ ince filmlerini sol-jel yöntemiyle elde edip yapısal ve optik özelliklerine bakmışlar [112], Lemarchand ve ark., cam panel üzerindeki foto-voltaik hücrelerin işlevini bilgisayar simülasyonu ile irdelemişler [113], Jiang ve ark., magnetron saçınımıyla kuvars cam yüzeylerine uygulanan, Zn katkısıyla VO₂ enerji etkin akıllı ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerini belirlemişler [114] ve Fernandes ve ark., akıllı elektro-kromik pencereler için Li⁺ ve Er⁺³-katkılı poli (ε-kaprolakton)/siloksan biyo-hibrid elektrolitleri çalışmışlardır [115].

Ostendorp ve ark., kaptanların geniş boyutlu gemilerin liman manevralarını kontrol etmeleri ereğiyle kullanılan akıllı camların ara-yüz gereksinimlerini belirlemeye çalışmışlar [116], Kawai ve ark., tsunami oluşumu durumunda insanların tahliyesinde, hafif, optik akıllı camların kullanımıyla ilgili eğitimlerine dair bir rapor hazırlamışlar [117], Huang ve ark., sıcak iklimlerin hüküm sürdüğü ülkelerde güneşten gelen kızıl ötesi ışınları engelleyerek soğumaya fayda sağlayan antimon katkılı kalay oksit nano-kristallerini solvo-ısıt yöntemiyle sentezlemişler [118] Zakirullin ve Letuta, güneş radyasyonunu filtreleyen akıllı çift tabaka camının ışık geçirgenliğini açılabilir olarak karakterize etmişler [119], Leinberg ve ark., ilk kez mikron altı çapa sahip TiO₂ bakır asıltı-esaslı akıllı pencere aygıtını bilim dünyasına lanse etmişler [120], Soltani ve Kaye, termo-kromik vanadyum oksit akıllı kaplamaların özelliklerini ve uygulamalarını anlatan bir kitap bölümü yazmışlar [121], Huang ve ark., bir akıllı bina malzemesi olarak enerji tasarrufu sağlamak için WO₃/TiO₂ nano-yapının elektro-kromik, foto-bozunum ve foto-etkin-su severlik özelliklerini incelemişler [122], Zheng ve ark., cam yüzeyine orta frekans magnetron saçınımıyla yeni, çok katlı TiO₂(R)/VO₂(M)/TiO₂(A) tabakayı uygulayıp enerji tasarrufu, buzlanma dayanımı ve kendi kendini temizleme özellikleri açısından araştırmışlar [123]. Jelle, binalardaki cam paneller, cam yapılar ve elektro-kromik pencereler için güneş enerjisi radyasyon faktörünü çalışmış [124], Ajaji ve André, akıllı elektro-kromik pencere ofis binalarındaki ısı ve görüş konforunu deneysel olarak incelemişler [125] ve Da Silva Jr ve ark., beyaz ışık yayan diyot (WLED) uygulamasında kullanılmak üzere terbiyum ve/veya erbiyum-samaryum katkılı PbGeO₃:PbF₂:CdF₂ cam fosforunu sentezleyip lüminesans karakteristiklerine bakmışlardır [126].

Choi ve ark., düz ekran camlarının mevcut durumu ve geleceği hakkında bilgilendirmelerde bulunmuşlar [127], Patil ve ark., bir cam altlık yüzeyine kaplanmış iletken indiyum kalay oksit ince film üzerinde büyüyen saf brokit TiO₂ nano-iğneciklerin elektro-kromik davranışını raporlamışlar [128], Connelly ve ark., binalarda yeni bir yaklaşım olan, elektrik üreten akıllı cam yada panellerin yüzeyindeki yansıtıcı termo-tropik tabakayı sentezleyip, ışık geçirgenliği ve yansıtma özelliklerini detaylıca irdelemişler [129], Ferraris ve Perero, çeşitli uygulama alanlarında kullanıma aday

malzemeler olarak saçınım yöntemiyle elde edilen akıllı, inorganik kompozit kaplamalar hakkında geniş bilgi sunmuşlar [130], Karmakar, tersinir, foto–kromik ve radyo–fotolüminesans cam nano–kompozitlerinin kimyasal bileşimleri, hazırlanışları, özellikleri, işlevleri ve uygulama alanlarını anlatan bir kitap bölümü yazmış [131], Swain ve ark., hidro–metalurji metodunu kullanarak sıvı–kristal–ekran cam atıklarının HCl ile işlemi sonucu çözünen indiyumu kazanma çalışmalarını kaleme almışlar [132], Cüce, binalardaki enerji tüketimini azaltmak üzere yakın zamanda geliştirilen çok–işlevli izolasyon güneş camında yaşanan en son gelişmeleri ve geleceğe dair yaklaşımları bir makale halinde sunmuş [133], Zhang ve ark., akıllı, enerji–etkin pencere uygulamalarında değerlendirilmek üzere, direkt akım (DC)–reaktif, magnetron saçınım yöntemiyle soda–kireç–silika cam altlıklar üzerinde 200 °C’de 160 voltla VO₂ ince film tabakasını oluşturup karakterize etmişlerdir [134]. Geleneksel camlarla karşılaştırıldıklarında yeni yüksek teknoloji akıllı camlar binalardaki ısıtma ve soğutma maliyetlerinin düşürülmesinde önemli bir etkiye sahiptirler. Fazel ve ark., iki yeni metotla böylesi camları elde etmeye çalışmışlar [135], De ve ark., ileri teknoloji güneş panelleri için grafen/nano–boşluklu silika hetero–yapı esaslı su sevmez, anti–yansıtma kaplamalarının üzerinde durmuşlar [136] ve Hong ve ark., sadece çatılarda değil aynı zamanda bina içlerinde de kullanılan akıllı foto–voltaik panelleri belirleme girişimlerinde bulunmuşlardır [137].

Grafen oksit termo–tropik (ısıl yönelimli) hidro–jel içerisine dahil edildiğinde foto–ısı dönüşüm malzemesi karakteri kazanır ve güneşin foto–enerjisini ısı enerjisiye dönüştürür. Bu sayede de şeffaf akıllı camı opak hale getirir. Söz konusu sebeple Chou ve ark., enerji verimliliği bakımından ilgili sistemi araştırmışlar [138], Basoglu ve ark., tüketicinin tercihini dikkate alarak akıllı camların tasarım özelliklerini ve kullanıcıların endişe, beklenti, eğilim, risk düşüncesi, haz alması ve ürünü kolay kullanabilme beklentisi gibi faktörleri keşfetmeye çalışmışlar [139], Mohamed, yeni bir ilham kaynağı olarak özellikle 21. yüzyılın malzemesi şeklinde tanımlanan akıllı teknolojileri mimari tasarım açısından değerlendirmiş [140], Lee ve ark., otomobillerin mini kameralarında kullanıma uygun, akıllı, kendi kendini temizleyebilen cam lensleri çalışmışlar [141], Jung ve ark., silika sol–jel sürecini kullanarak inorganik jel ve sıvı kristal esaslı akıllı pencereleri araştırmışlar [142], Dabrowski ve ark., akıllı pencereler ve hafıza göstergeleri için yeni bir sıvı kristalin eleman olarak çeşitli florlu bileşikler incelemişler [143], Facchinetti ve ark., akıllı mimari ve uygulamalar konseptinde fosfor ışıl karolar üzerine bir proje tamamlamışlar [144], Rai ve ark., gümüş, siyah, fuşya, sarı ve koyu cam göbeği mavisi renkleri sergileyebilen, yüzeyleri elektro–kimyasal olarak gümüşle kaplı akıllı pencereleri ve bilgilendirme monitörleri üzerine çeşitli çalışmalara imza atmışlar [145], Sun ve ark., anti–yansıtma TiO₂ ve Al:Zn/SiO₂ kaplamalı camlarla VO₂–esaslı termo–kromik pencere üretimiyle ilgilenmişler [146], Seyfour ve Binions, akıllı cam uygulamaları için termo–kromik vanadyum dioksit kaplama eldesinde sol–jel yaklaşımlarına bakmışlar [147], Tong ve ark., akıllı pencereler için, doğa koşullarına dayanımı artırılmış yapıya sahip VO₂/Al–O çekirdek–kabuk yapısını hazırlamaya gayret etmişler [148], Ramadan ve ark., yüksek optik modülasyonlu bir akıllı pencereye uygulanmış protonik katı elektroliti hazırlayıp karakterize etmişler [149], Ulrich ve ark., akıllı pencere kullanımlarına uygun titanyum ve niyobyum esaslı oksit karışımının elektro–kromik özellikleri üzerinde durmuşlar [150], Allen ve ark., binaların genel enerji performanslarını arttırmak açısından termo–kromik pencerelerin potansiyeline bakmışlar [151], Liang ve ark., kendi kendini temizleyebilen ve enerji tasarruf işlevine haiz akıllı pencere olarak tungsten katkılı vanadyum dioksit ince filmlerin üzerinde durmuşlar [152], Lee ve ark., otomotiv camlarına uygulamak için elektrik ve optik özelliklerini iyileştirmek amacıyla NiO ince filmin karakterizasyon çalışmasını gerçekleştirmişler [153], Gün ve ark., farklı ticari fritlerin değişen sıcaklık aralıklarında fosforesans ışımaya etkisini gözden geçirmişler [154], Pekkan ve ark., farklı renk veren fosfor ışıl pigmentler açısından düşük sıcaklık sır bileşimlerini belirleyip çini bünyelere uygulamışlar [155] ve Karasu ve ark., biyo–camlar hakkında genel bir literatür taraması yapmışlardır [156].

Hu ve ark., optik simülasyonla, akıllı, termo-kromik filmin optik özelliklerini araştırmışlar [157], Casini, literatüre, binalar için aktif, dinamik pencereler üzerine en son kaleme alınan bir derleme yazısı kazandırmış [158], Long ve ark., saçınım yoluyla VO₂ kaplı pencerelerin üzerine uygulanan V₂O₃ tabakalarının etkilerini çalışmışlar [159], Lodi ve ark., beyaz ışık uygulamaları için Dy:Eu katkılı CaBAI camlarıyla ilgilenmişler [160], Ghosh ve ark., 20 volt uygulanması sonucu yarı şeffaf halden şeffaf hale dönüşen polimer dağılımlı sıvı kristal (PDLC) tabakaların renk özelliklerini değerlendirmişler [161] ve Karasu ve Sarıcaoğlu, cam yüzey kaplama teknolojileri hakkında güncel bir derleme yazısını kaleme almışlardır [162].

6. Sonuç

Bu makalede, pasif ve aktif olarak 2 ana grupta incelenen akıllı cam teknolojilerinin her bir alt grubu, özellikleri ve uygulama alanları özetlenmiştir. Ayrıca uygulama örneklerine ve bazı üretici firmaların listesine de yer verilmiştir. Sunulan bilgilerle, okuyucuya geçmişten günümüze cam yüzeyi kaplamalarının geçirdiği evreler ve gelecek projeksiyonları hakkındaki beklentiler aktarılmaya çalışılmıştır. Akıllı cam teknolojileri, inşaat, havacılık, uzay ve otomotiv gibi önemli endüstrilerde uygulanmaya başlanmıştır. Bunların, büyük ölçeklerde kullanılmalarının yüksek maliyet gibi bazı zorluklarına rağmen özellikle enerji verimliliği uygulamaları için önemli aday sistemler olduğu görülmektedir. Özellikle malzeme teknolojilerindeki gelişmelerle ticari ürün sayısı artmış, önemli sektörlerde uygulama alanları büyümüştür. Ülkemizde şu an için akıllı cam malzemelerin üretimi yeni yeni gerçekleştirilmekte, Şişecam gibi büyük cam üreticilerinin ve üniversitelerin yoğun Ar-Ge çalışmaları da son hızla devam etmektedir.

Kaynakça

- [1] Karasu B., Bereket O., Biryant E., Sanoglu D., “The latest developments in glass science and technology”, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2017, 4(2), 209–233.
- [2] Wong K. V., Chan R., “Smart glass and its potential in energy savings”, *Journal of Energy Resources Technology*, 2014, Vol. 136, 1–6.
- [3] Monk P., Mortimer R. J., Rosseinsky D. R., “Electrochromism and electrochromic devices”, Cambridge University Press, 2007.
- [4] Vergaz R., Sanchez-Pena J. M., Barrios D., Vazquez C., Lallana P. C., “Modelling and electro-optical testing of suspended particle devices”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2008, 92(11), 1483–1487.
- [5] “Liquid crystal glass”, <http://www.glazette.com/Glass-Knowledge-Bank-70/Liquid-Crystal-Glass.html>, 2012.
- [6] Parkin I. P., Manning T. D., “Intelligent thermochromic windows”, *Journal of Chemical Education*, 2006, Vol. 83(3), 393.
- [7] Kiria P., Hyett G., Binions R., “Solid state thermochromic materials”, *Advanced Material Letters*, 2010, Vol 1(2), 20.
- [8] Gao Y., Luo H., Zhang Z., Kang L., Chen Z., Du, J., Kanehira M., Cao C., “Nanoceramic VO₂ thermochromic smart glass: A review on progress in solution processing”, *Nano Energy* 1, 2012, 221–246.
- [9] Manning T. D. et al., “Intelligent window coating: Atmospheric pressure chemical vapor deposition of tungsten-doped vanadium dioxide”, *Chemistry of Materials*, 2004, 16 (4), 744–749.
- [10] Cho J.-H. et al., “Thermochromic characteristics of WO₃ doped VO₂ thin films prepared by sol-gel method”, *Ceramic. Int.*, 2012, 38, 589–593.
- [11] Beteille F., Livage J., “Optical switching in VO₂ thin films” *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 1998, 13(1), 915–921.
- [12] Livage J., et al., “Sol-gel synthesis of oxide materials”, *Acta Materialia*, 1998, 46 (3), 743–750.

- [13] Livage J. et al., "Optical properties of sol-gel derived vanadium oxide films", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 1997, 8(1), 857–865.
- [14] Granqvist C. G. et al., "Progress in chromogenics: New results for electro-chromic and thermochromic materials and devices", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2009, 93 (12), 2032–2039.
- [15] Guinneton F. et al., "Optimized infrared switching properties in thermo-chromic vanadium dioxide thin films: Role of deposition process and microstructure", *Thin Solid Films*, 2004, 446 (2), 287–295.
- [16] Lee M. H., Kim M. G., Song H. K., "Thermochromism of rapid thermal annealed VO₂ and Sn-doped VO₂ thin films", *Thin Solid Films*, 1996, 290, 30–33.
- [17] Sobhan M. et al., "Thermochromism of sputter deposited W_xV_{1-x}O₂ films", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 1996, 44 (4), 451–455.
- [18] Binions R., Piccirillo C., Parkin I. P., "Tungsten doped vanadium dioxide thin films prepared by atmospheric pressure chemical vapour deposition from vanadyl acetylacetonate and tungsten hexachloride", *Surface and Coatings Technology*, 2007, 201(22–23), 9369–9372.
- [19] Qureshi U., Manning T. D., Parkin I. P., "Atmospheric pressure chemical vapour deposition of VO₂ and VO₂/TiO₂ films from the reaction of VOCl₃, TiCl₄ and water", *Journal of Materials Chemistry*, 2004, 14(7), 1190–1194.
- [20] Kamalisarvestani M., Saidur R., Mekhilef S., Javadi F. S., "Performance, materials and coating technologies of thermochromic thin films on smart windows", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 26, 353–364.
- [21] Almeida R., "Optical and photonic glasses: Photochromic and photosensitive glasses", *Lecture Notes*, Lehigh University, 2005.
- [22] <http://chem2u.blogspot.com.tr/2010/06/photochromic-glass.html> (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [23] Baetens R., Jelle B. P., Gustavsen A., "Properties requirements and possibilities of smart windows for dynamic day light and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2007, 94, 87–105.
- [24] Granqvist C. G., "Electrochromic devices", *J. Euro. Ceram. Soc.*, 2005, 25 (12), 2907–2912.
- [25] Granqvist C. G., Hultaker A., "Transparent and conducting ITO films: New developments and applications", *Thin Solid Films*, 2002, 411, 1–5.
- [26] Mortimer R. J., "Electrochromic materials", *Annual Review Material Research*, 2011, 41, 241–268.
- [27] Granqvist C. G., "Electrochromic for smart window: Oxide based thin films and devices" *Thin Solid Films*, 2014, 564, 1–38.
- [28] Granqvist C. G., "Handbook of inorganic electrochromic materials", Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1995.
- [29] Chen X., Mao S. S., "Titanium dioxide nanomaterials: Synthesis, properties, modifications, and applications", *Chemistry Review*, 2007, 107, 2891.
- [30] Leftheriotis G., Koubli E., Yianoulis P., "Combined electrochromic-transparent conducting coatings consisting of noble metal, dielectric and WO₃ multilayers", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2013, Vol. 116, 110–119.
- [31] Wang C. K., Lin C. K., Wu C. L., Brahma S., Wang S. C., Huang J. L., "Characterization of electrochromic tungsten oxide film from electrochemical anodized RF-sputtered tungsten films", *Ceram. Int.*, 2013, Vol. 39 (4), 4293–4298.
- [32] Gubbala S., Thangala J., Sunkara M. K., "Nanowire-based electrochromic devices", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2007, Vol 91 (9), 813–820.
- [33] White C. M., Gillaspie D. T., Whitney E., Lee S. H., Dillon A. C., "Flexible electrochromic devices based on crystalline WO₃ nanostructures produced with hot-wire chemical vapor deposition", *Thin Solid Films*, 2009, Vol 517 (12), 3596–3599.
- [34] Deshpande R., Lee S. H., Mahan A. H., Parilla P. A., Jones K. M., Norman, A. G., To B., Blackburn, J. L., Mitra, S., Dillon, A. C., "Optimization of crystalline tungsten oxide

- nanoparticles for improved electrochromic applications”, *Solid State Ionics*, 2007, Vol 178 (13–14), 895–900.
- [35] Kattouf B., Frey G. L., Siegmanna A., Ein–Eli Y., “Enhanced reversible electrochromism via in situ phase transformation in tungstate monohydrate”, *Chemical Communications*, 2009, 47.
- [36] Jiao Z., Wang J., Ke L., Sun X. W., Demir H. V., “A complementary electrochromic device with highly improved performance based on brick–like hydrated tungsten trioxide film”, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2012, Vol 12 (5), 3838–3847.
- [37] Jiao Z., Wang X., Wang J., Ke L., Demir H. V., Koh T. W., Sun X. W., “Efficient synthesis of plate–like crystalline hydrated tungsten trioxide thin films with highly improved electrochromic performance”, *Chemical Communications*, 2012, 3.
- [38] Xie Z., Gao L., Liang B., Wang X., Chen G., Liu Z., Chao J., Chen D., Shen G., “Fast fabrication of a $\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ thin film with improved electrochromic properties”, *J. Mater. Chem.*, 2012, 37.
- [39] Lampert C. M., “Optical switching technology for glazings”, *Thin Solid Films*, 1993, 236 (1–2), 6–13.
- [40] http://www.smartglassinternational.com/downloads/SPD_SmartGlass_Data.pdf (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [41] Coates D., “Normal and reverse mode polymer dispersed liquid crystal devices”, *Displays*, 1993, 14 (2), 94–103.
- [42] <https://continuingeducation.bnppmedia.com/courses/glass-apps/smart-glass-applications-with-polymer-dispersed-liquid-crystal-pdlc-technology/3/> (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [43] Lampert C. M., “Large–area smart glass and integrated photovoltaics”, *Solar Energy Material & Solar Cells*, 2003, 76(4), 489–499.
- [44] Hack M. G., Weaver M. S., Mahon J. K. and Brown J. J., “Recent progress in flexible OLED displays”, *Proc. SPIE 4362, Cockpit Displays VIII: Displays for Defense Applications*, 2001, 245.
- [45] <http://www.sage-ec.com/> (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [46] <https://www.econtrol-glas.de/> (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [47] www.sekurit.com (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [48] www.SmartGlassinternational.com (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [49] www.dreamglass.es (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [50] www.sggprivalite.com (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [51] <http://www.nsg.co.jp/en/> (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [52] <http://www.refr-spd.com> (Erişim Tarihi: 15.02.2018).
- [53] Deb S. K., “Photovoltaic–integrated electrochromic device for smart–window applications”, *World Renewable Energy Congress VI (WREC2000)* Ed. by Sayigh, A. A. M., 2000, 2652–2657.
- [54] Naftaly M., Batchelor C., Jha A., “ Pr^{3+} –doped fluoride glass for a 589 nm fibre laser”, *Journal of Luminescence*, 2000, 19, 133–138.
- [55] Auch M. D. J., Soo O. K., Ewald G., Soo–Jin C., “Ultrathin glass for flexible OLED application”, *Thin Solid Films*, 2002, 417, 47–50.
- [56] Purvis G., “Nanotechnology, standards and tools benefit smart materials”, *Smart Materials Bulletin*, 2002, 9–12.
- [57] Cui H. N., Costa M. F., Teixeira V., Porqueras I., Bertran E., “Electrochromic coatings for smart windows”, *Surface Science*, 2003, 532–535, 1127–1131.
- [58] Jonsson A. K., Furlani M., Niklasson G. A., “Isothermal transient ionic current study of laminated electrochromic devices for smart window applications”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2004, 84, 361–367.
- [59] Nitz P., Hartwig H., “Solar control with thermotropic layers”, *Solar Energy*, 2005, 79, 573–582.
- [60] Syrrako E., Papaefthiminou S., Yianoulis P., “Eco–efficiency evaluation of a smart window prototype”, *Science of the Total Environment*, 2006, 359, 267–282.

- [61] Ujiie S., Furukawa H., Yano Y., Mori A., “Oriented glass states formed by ionic liquid–liquid crystals”, *Thin Solid Film*, 2006, 509, 185–188.
- [62] Karuppasamy A., Subrahmanyam A., “Studies on electrochromic smart windows based on titanium doped WO₃ thin films”, *Thin Solid Film*, 2007, 516, 175–178.
- [63] Story C., Lu K., Reynolds Jr., W. T., Brown D., “Shape memory alloy/glass composite seal for solid oxide electrolyzer and fuel cells”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2008, 33, 3970–3975.
- [64] Tajima K., Yamada Y., Bao S., Okada M., Yoshimura K., “Solid electrolyte of tantalum oxide thin film deposited by reactive DC and RF magnetron sputtering for all–solid–state switchable mirror glass”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2008, 92, 120–125.
- [65] Cupelli D., Nicoletta F. P., Manfredi S., Vivacqua M., Formoso P., De Filpo G., Chidichimo G., “Self–adjusting smart windows based on polymer–dispersed liquid crystals”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2009, 93, 2008–2012.
- [66] Matthews S., De Bossher W., Blondeel A., Van Holsbeke J., Delrue H., “New target materials for innovative applications on glass”, *Vacuum*, 2009, 83, 518–521.
- [67] Couto D. S., Hong Z., Mano J. F., “Development of bioactive and biodegradable chitosan–based injectable systems containing bioactive glass nanoparticles”, *Acta Biomaterialia*, 2009, 5, 115–123.
- [68] Gu Y., Dhanarajan A. P., Hruby S. L., Baldi A., Ziaie B., Siegel R. A., “An interpenetrating glass–thermosensitive hydrogel construct gate flow control thermofluidic oscillations”, *Sensors and Actuators B*, 2009, 138, 631–636.
- [69] Piccolo A., “Thermal performance of an electrochromic smart window tested in an environmental test cell”, *Energy and Buildings*, 2010, 42, 1409–1417.
- [70] Beatens R., Jelle B. P., Gustavsen A., “Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state–of–the–art review”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2010, 94, 87–105.
- [71] Jonsson A., Roos A., “Evaluation of control strategies for different smart window combinations using computer simulations”, *Solar Energy*, 2010, 84, 1–9.
- [72] Chen H.–J. Shu C.–M., Chiang C.–M., Lee S.–K., “The indoor thermal research of the HCRI–BIPV smart window”, *Energy Procedia*, 2011, 12, 593–600.
- [73] Kiri P., Warwick M. E. A., Ridley I., Binions R., “Fluorine doped vanadium dioxide thin films for smart windows”, *Thin Solid Films*, 2011, 520, 1363–1366.
- [74] Chen Z., Gao Y., Kang L., Du J., Zhang Z., Luo H., Miao H., Tan G., “VO₂–based double–layered films for smart windows: Optical design, all–solution preparation and improved properties”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2011, 95, 2677–2684.
- [75] Kalagi S. S., Mali S. S., Dalavi D. S., Inamdar A. I., Im H., Patil P. S., “Limitations of dual and complementary inorganic–organic electrochromic device for smart window application and its colorimetric analysis”, *Synthetic Metals*, 2011, 161, 1105–1112.
- [76] Tajima K., Yamada Y., Okada M., Yoshimura K., “Polyvinyl chloride seal layer for improving the durability of electrochromic switchable mirrors based on Mg–Ni thin film”, *Thin Solid Films*, 2011, 519, 8114–8118.
- [77] Huang L.–M., Hu C.–W., Liu H.–C., Hsu C.–Y., Chen C.–H., Ho K.–C., “Photovoltaic electrochromic device for solar cell module and self–powered smart glass applications”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2012, 99, 154–159.
- [78] Dussault J.–M., Gosselin L., Galstian T., “Integration of smart windows into building design for reduction of yearly overall energy consumption and peak loads”, *Solar Energy*, 2012, 86, 154–159.
- [79] Andrade L. H. C., Lima S. M., Baesso M. L., Novatski A., Rohling J. H., Guyot Y., Boulon G., “Tunable light emission and similarities with garnet structure of Ce–doped LSCAS glass for white–light device”, *Journal of Alloys and Compounds*, 2012, 510, 54–59.
- [80] Chen C. C., Jheng W. D., “Logotype selective electrochromic glass display”, *Ceram. Int.*, 2012, 38, 5835–5842.

- [81] Chen X., Lv Q., Yi X., “Smart window coating based on nanostructured VO₂ thin film”, *Optik*, 2012, 123, 1187–1189.
- [82] Gesheva K. A., Ivanova T. M., Bodurov G., “Transition metal oxide films: Technology and “smart windows” electrochromic device performance”, *Progress in Organic Coatings*, 2012, 74, 235–239.
- [83] Huang L.–M., Kung C.–P., Hu C.–W., Peng C.–Y., Liu H.–C., “Tunable photovoltaic electrochromic device and module”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2012, 107, 390–395.
- [84] Rodrigues L. C., Silva M. M., Smith M. J., Gonçalves A., Fortunato E., “Poly (ϵ -caprolactone)/siloxane biohybrids with application in “smart window”, *Synthetic Metals*, 2012, 161, 390–395.
- [85] Sbar N. L., Podbelski L., Yang H. M., Pease B., “Electrochromic dynamic windows for office buildings”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2012, 1, 125–139.
- [86] Ye H., Meng X., Xu B., “Theoretical discussions of perfect window, ideal near infrared solar spectrum regulating window and current thermochromic window”, *Energy and Buildings*, 2012, 49, 164–172.
- [87] Kaya Yeşilay S., Karasu B., “Process parameters determination of phosphorescent pigment added, frit-based wall tiles vetrosa decorations”, *Ceram. Int.*, 2012, 38, 4, 2757–2766.
- [88] Kaya Yeşilay S. and Karasu B., “Glass and ceramics with phosphorescent ability”, *Ceram. Tech.*, 2012, 34, 94–99.
- [89] El Kazazz H., Karacaoğlu E., Karasu B. and Ağatekin M., “Production of Pr₆O₁₁-doped SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺, Y³⁺ yellowish-green phosphors and their usage in artistic glasses”, *Anadolu University, Journal of Science and Technology A, Applied Sciences and Engineering*, 2012, 13, 2, 81–87.
- [90] Ko Y. G., Karng S. W., Lee G. S., Choi U. S., “Smart glass substrate as colorimetric chemosensor for highly selective detection of silver ion”, *Sensors and Actuators B*, 2013, 177, 1107–1114.
- [91] You H., Steckl A., J., “Versatile electrowetting arrays for smart window applications—from small to large pixels on fixed and flexible substrates”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2013, 117, 544–548.
- [92] Wuryandari A., I., Gondokaryono Y. S., Widnyana I. M. Y., “Design and implementation of driver main computer and head up display on smart car”, *Procedia Technology*, 2013, 11, 1041–1047.
- [93] Cannavale A., Fiorito F., Resta D., Gigli G., “Visual confort assessment of smart photovoltachromic windows”, *Energy and Buildings*, 2013, 65, 137–145.
- [94] “Biologically inspired “smart materials”, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2013, 65, 403–404.
- [95] Tonooka K., Kikuchi N., “Super-hydrophilic and solar-heat-reflective coatings for smart windows”, *Thin Solid Films*, 2013, 532, 147–150.
- [96] Li R., Ji S., Li Y., Gao Y., Luo H., Jin P., “Synthesis and characterization of plate-like VO₂(M)@SiO₂ nanoparticles and their application to smart window”, *Materials Letters*, 2013, 110, 241–244.
- [97] Bodurov G., Ivanova T., Gesheva K., “Technology and application of transition metal oxide of W–V–O as functional layers and NiO thin films as counter electrode material in electrochromic “smart windows”, *Physics Procedia*, 2013, 46, 149–158.
- [98] Papageorgas P., Piromalis D., Antonakoglou K., Vokas G., Tseles D. and Arvanitis, K. G., “Smart solar panels: In-situ monitoring of photovoltaic panels based on wired and wireless sensor networks”, *Energy Procedia*, 2013, 36, 535–545.
- [99] Ma D., Chang C.–C., Hung S.–W., “The selection of technology for late-starters: A case study of the energy-smart photovoltaic industry”, *Economic Modelling*, 2013, 35, 10–20.

- [100] Tajima K., Ikeyama M., Nakao S., Yamada Y., Yoshimura K., “Si incorporated diamond-like carbon film-coated electrochromic switchable mirror glass for high environmental durability”, *Ceram. Int.*, 2013, 39, 8273–8278.
- [101] Souza W. S., Domingues R. O., Bueno L. A., da Costa E. B., Gouveia-Neto A. S., “Color tunable green-yellow-orange-red $\text{Er}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$ -codoped $\text{PbGeO}_3:\text{PbF}_2:\text{CdF}_2$ glass phosphor for application in white LED technology”, *Journal of Luminescence*, 2013, 144, 87–90.
- [102] Carvalho S. M., Oliveira A. A. R., Lemos E. M. F. and Pereira M. M., “Bioactive glass nanoparticles for periodontal regeneration and applications in dentistry”, Chapter 15 in *Nanobiomaterials in Clinical Dentistry*, 2013, 299–322.
- [103] Lizin S., Leroy J., Delvenne C., Dijk M., De Schepper E., Van Passel S., “A patent landscape analysis for organic photovoltaic solar cells: Identifying the technology’s development phase”, *Renewable Energy*, 2013, 57, 5–11.
- [104] Montemor M. F., “Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances”, *Surface & Coatings Technology*, 2014, 258, 17–37.
- [105] Yi X., Su K., Schlam E., Levy R. A., “Electrostatic flexible film based smart window: Optical design, performance and residual charge investigation”, *Solar Energy*, 2014, 110, 667–672.
- [106] Ramadan R., Kamal H., Hashem H. M., Abdel-Hady K., “Gelatin-based solid electrolyte releasing Li^+ for smart window applications”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2014, 127, 147–156.
- [107] Skaff M. C., Gosselin L., “Summer performance of ventilated windows with absorbing or smart glazings”, *Solar Energy*, 2014, 110, 667–672.
- [108] Madida I. G., Simo A., Sone B., Maity A., Kana J. B. K., Gibaud A., Merad G., Thema F. T., Maaza M., “Submicronic VO_2 -PVP composites coatings for smart windows application and solar heat management”, *Solar Energy*, 2014, 107, 758–769.
- [109] Kontziampasis D., Boulousis G., Smyrnakis A., Ellinas K., Tserepi A., Gogolides E., “Biomimetic, antireflective, superhydrophobic and oleophobic PMMA and PMMA-coated glass surfaces fabricated by plasma processing”, *Microelectronic Engineering*, 2014, 121, 33–38.
- [110] More A. J., Patil R. S., Dalavi D. S., Mali S. S., Hong C. K., Gang M. G., Kim J. H., Patil P. S., “Electrodeposition of nano-granular tungsten oxide thin films for smart window application”, *Materials Letters*, 2014, 134, 298–301.
- [111] Chu X., Tao H., Liu Y., Ni J., Bao J., Zhao X., “ VO_2/AZO double-layer films with thermochromism and low-emissivity for smart window applications”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2014, 383, 121–125.
- [112] Meher S. R., Balakrishnan L., “Sol-gel derived nanocrystalline TiO_2 thin films: A promising candidate for self-cleaning smart window applications”, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2014, 26, 251–258.
- [113] Lemarchand P., Doran J., Norton B., “Smart switchable technologies for glazing and photovoltaic applications”, *Energy Procedia*, 2014, 57, 1878–1887.
- [114] Jiang M., Bao S., Cao X., Li Y., Li S., Zhou H., Luo H., Jin P., “Improved luminous transmittance and diminished yellow color in VO_2 energy efficient smart thin films by Zn doping”, *Ceram. Int.*, 2014, 40, 6331–6334.
- [115] Fernandes M., Freitas V. T., Pereira S., Fortunato E., Ferreira R. A. S., Carlos L. D., Rego, R., de Zea Bermudez V., “Green Li^+ - and Er^{3+} -doped poly(ϵ -caprolactone)/siloxane biohybrid electrolytes for smart electrochromic windows”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2014, 123, 203–210.
- [116] Ostendorp M.-C., Lenk J. C., Lüdtkke A., “Smart glasses to support maritime pilots in harbor maneuvers”, *Procedia Manufacturing*, 2015, 3, 2840–2847.
- [117] Kawai J., Mitsuhashi H., Shishibori, M., “Tsunami evacuation drill system using smart glasses”, *Procedia Computer Science*, 2015, 72, 329–336.
- [118] Huang H., Ng M., Wu Y., Kong L., “Solvochemical synthesis of $\text{Sb}:\text{SnO}_2$ nanoparticles and IR shielding for smart glass”, *Materials and Design*, 2015, 88, 384–389.

- [119] Zakirullin R. S., Letuta S. N., “A smart window for angular selective filtering solar radiation”, *Solar Energy*, 2015, 120, 585–592.
- [120] Leinberg S., Kisand V., Šutka A., Saal K., Löhmus R., Joost U., Timusk M., Nõmmiste E., “Switchable optical transmittance of TiO₂ submicron-diameter wire suspension-based “smart window device”, *Optical Materials*, 2015, 46, 418–422.
- [121] Soltani M., Kaye A. B., “Properties and applications of thermochromic vanadium dioxide smart coatings”, Chapter 13 in *Intelligent Coatings for Corrosion Control*, 2015, 461–490.
- [122] Huang B.-R., Lin T.-C., Liu Y.-M., “WO₃/TiO₂ core-shell nanostructure for high performance energy-saving smart windows”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2015, 133, 32–38.
- [123] Zheng J., Bao S., Jin P., “TiO₂(R)/VO₂(M)/TiO₂(A) multilayer film as smart window: Combination of energy-saving, antifogging and self-cleaning functions”, *Nano Energy*, 2015, 11, 136–145.
- [124] Jelle B. P., “Solar radiation glazing factors for window panes, glass structures and electrochromic windows in buildings: measurement and calculations”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2015, 116, 291–323.
- [125] Ajaji Y., André P., “Thermal comfort and visual comfort in an office building equipped with smart electrochromic glazing: An experimental study”, *Energy Procedia*, 2015, 78, 2464–2469.
- [126] Da Silva Jr C. M., Bueno L. A., Gouveia-Neto A. S., “Er³⁺/Sm³⁺- and Tb³⁺/Sm³⁺-doped glass phosphors for application in warm white light-emitting diode”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2015, 410, 151–154.
- [127] Choi Y. S., Yun J. U., Park S. E., “Flat panel display glass: Current status and future”, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2016, 431, 2–7.
- [128] Patil R. A., Devan R. S., Liou Y., Ma Y.-R., “Efficient electrochromic smart windows of one-dimensional pure brookite TiO₂ nanoneedles”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2016, 147, 240–245.
- [129] Connelly K., Wu Y., Chen J., Lei Y., “Design and development of a reflective membrane for a novel building integrated concentrating photovoltaic (BICPV) “smart window” system”, *Applied Energy*, 2016, 182, 331–339.
- [130] Ferraris S. and Perero S., “Smart and composite inorganic coatings obtained by sputtering: A promising solution for numerous application fields”, Chapter 2 in *Smart Composite Coatings and Membranes*, 2016, 33–60.
- [131] Karmakar B., “Functionality of reversible glass nanocomposites and their applications”, Chapter 11 in *Glass Nanocomposites*, 2016, 265–278.
- [132] Swain B., Mishra C., Hong H. S., Cho S.-S., “Beneficiation and recovery of indium from liquid-crystal-display glass by hydrometallurgy”, *Waste Management*, 2016, 265–278.
- [133] Cuce E., “Toward multi-functional PV glazing technologies in low/zero carbon buildings: Heat insulation solar glass-latest development and future prospects”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 60, 1286–1301.
- [134] Zhang D.-P., Zhu M.-D., Liu Y., Yang K., Liang G.-X., Zheng Z.-H., Cai X.-M., Fan P., “High performance VO₂ thin films growth by DC magnetron sputtering at low temperature for smart energy efficient window application”, *Journal of Alloys and Compounds*, 2016, 659, 198–202.
- [135] Fazel A., Izadi A., Azizi M., “Low-cost solar thermal based adaptive window: Combination of energy-saving and self-adjustment in buildings”, *Solar Energy*, 2016, 133, 274–282.
- [136] De S., Singh J., Prakash B., Chakraverty S., Ghosh K., “Graphene/nanoporous-silica heterostructure based hydrophobic antireflective coating”, *Materials Today Communications* 8, 2016, 41–45.
- [137] Hong T., Jeong K., Koo C., Kim J., Lee M., “A preliminary study for determining photovoltaic panel for a smart photovoltaic blind considering usability and constructability issues”, *Energy Procedia*, 2016, 88, 363–367.

- [138] Chou H.-T., Chen Y.-C., Lee C.-Y., Chang H.-Y., Tai, N.-H., “Switchable transparency of dual-controlled smart glass prepared with hydrogel-containing graphene oxide for energy efficiency”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2017, 166, 45–51.
- [139] Basoglu N., Ok A. E., Daim, T. U., “What will it take to adopt smart glasses: A consumer choice based review?”, *Technology in Society*, 2017, 50, 50–56.
- [140] Mohamed A. S. Y., “Smart materials innovative technologies in architecture; Towards innovative design paradigm”, *Energy Procedia*, 2017, 115, 139–154.
- [141] Lee K. Y., Hong J., Chung S. K., “Smart self-cleaning lens cover for miniature cameras of automobiles”, *Sensors and Actuators B*, 2017, 239, 754–758.
- [142] Jung D., Choi W., Park J.-Y., Kim K. B., Lee N., Seo Y., Kim H. S., Kong N. K., “Inorganic gel and liquid crystal based smart window using silica sol-gel process”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2017, 159, 488–495.
- [143] Dabrowski R., Dziaduszek J., Bozетка J., Piecek W., Mazur R., Chrunik M., Perkowski P., Mrukiewicz M., Żurowska M., Wegłowska D., “Fluorinated smectics–new liquid crystalline medium for smart windows and memory displays”, *Journal of Molecular Liquids*, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.12.068>, 2017.
- [144] Facchinetti T., Benetti G., Tramonte A., Carrar, L., Rubini A., Benedetti M., Randone E. M., Simonetta M., Capelli G., Keränen K., Ylisaukko-Oja A., Consoli A., Ayadi J., Giuliani G., “Luminous tiles: A new building device for smart architectures and applications”, *Microprocessors and Microsystems*, 2017, 51, 198–208.
- [145] Rai W., Tiwari N., Rajput M., Joshi S. M., Nguyen A. C., Wathews N., “Reversible electrochemical silver deposition over large areas for smart windows and information display”, *Electrochimica Acta*, 2017, 255, 63–71.
- [146] Sun G. Y., Cao, X., Zhou H., Bao S., Ping Jin P., “A novel multifunctional thermochromic structure with skin comfort design for smart window application”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2017, 159, 553–559.
- [147] Seyfour M. M., Binions R., “Sol-gel approaches to thermochromic vanadium dioxide coating for smart glaze application”, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2017, 159, 52–65.
- [148] Tong K., Li R., Zhu J., Yao H., Zhou H., Zeng X., Ji S., Jin P., “Preparation of VO₂/Al-O core-shell structure with enhanced weathering resistance for smart window”, *Ceram. Int.*, 2017, 52–65.
- [149] Ramadan R., Elshorbagy M. H., Kamal H., Hashem H. M., Abdelhady K., “Preparation and characterization of protonic solid electrolyte applied to a smart window device with high optical modulation”, *Optik*, 2017, 135, 85–97.
- [150] Ulrich S., Szyszko C., Jung S., Vergöhl M., “Electrochromic properties of mixed oxide based on titanium and niobium for smart window applications”, *Surface & Coating Technology*, 2017, 314, 41–44.
- [151] Allen K., Connelly K., Rutherford P., Wu Y., “Smart windows–dynamic control of building energy performance”, *Energy and Buildings*, 2017, 139, 535–546.
- [152] Liang Z., Zhao L., Meng W., Zhong C., Wei S., Dong B., Xu Z., Wan L., Wang S., “Tungsten-doped vanadium dioxide thin films as smart windows with self-cleaning and energy-saving functions”, *Journal of Alloys and Compounds*, 2017, 694, 124–131.
- [153] Lee W. C., Choi E. C., Boo J.-H., Hong B., “A study of characterization of nano-porous NiO thin film to improve electrical and optical properties for application to automotive glass”, *Thin Solid Films*, 2017, 641, 28–33.
- [154] Gün Y., Taşçı E., Pekkan K., Karasu B., “Farklı ticari fritlerin değişen sıcaklık aralıklarında fosforesans ışımaya etkisi”, *Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2017, Sayı: 10, 42–58.
- [155] Pekkan K., Gün Y., Kaymak K., Taşçı E., Karasu B., “Farklı renk veren fosfor ışıl pigmentler açısından düşük sıcaklık sır bileşimlerinin belirlenip çini bünyelerde uygulanması”, *Şişe Cam Teknik Bülten*, 2017, Cilt: 46, Sayı: 3 (232), 20–27.

- [156] Karasu, B., Yanar, A. O., Koçak, A. and Kısacık, Ö., “Bioactive glasses”, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering (EJCSE)*, 2017, Vol. 4, No: 3, 436–471.
- [157] Hu J., Yu X. (B.), “Optical properties of smart thermochromic film by computational optical model”, *Optik*, 2018, 157, 1–10.
- [158] Casini M., “Active dynamic windows for buildings: A review”, *Renewable Energy*, 2018, 119, 923–934.
- [159] Long S., Cao X., Sun G., Li N., Chang T., Shao Z., Jin P., “Effects of V₂O₃ buffer layers on sputtered VO₂ smart windows: Improved thermochromic properties, tunable width of hysteresis loops and enhanced durability”, *Applied Surface Science*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.02.083>, 2018.
- [160] Lodi T. A., Sandrini, M., Medina, A. N., Barboza, M. J., Pedrochi, F., Steimacher, A., “Dy:Eu doped CaBaI glasses for white light applications”, *Optical Materials*, 2018, 76, 231–236.
- [161] Ghosh A., Mallick T. K., “Evaluation of colour properties due to switching behaviour of PDLC glazing for adaptive building integration”, *Renewable Energy*, 2018, 120, 126–133.
- [162] Karasu B., Sarıcaoğlu B., “Cam yüzey kaplama teknolojileri”, *El-Cezerî Bilim ve Mühendislik Dergisi (EJCSE)*, 2018, Cilt 5, No: 2, xx–xx, (basımda).