บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันนี้ได้เกิดมีเทคโนโลยีใหม่ๆ เกิดขึ้นมามากมายเกี่ยวกับหน้าต่างที่จะช่วยให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน นั่นคือกระจกที่พลังอำนาจมาก “super windows” ที่ได้รับการออกแบบมาให้มีชั้นของกระจกภายในเป็นสามชั้นด้วยกัน โดยที่มีการเคลือบสาร low-Emission และการทำช่องว่างภายในและมีการเติมก๊าซเฉื่อยจำพวกกาซอาร์กอน(Apte) หรือคริปตรอนเข้าไปเพื่อเพิ่มความต้านทานการถ่ายเทความร้อนแต่กระจกจำพวกนี้ยังมีข้อด้อยอยู่โดยที่ไม่มีความสามารถปรับความเข้มสี หรือการลดปริมาณคลื่นแสงอุลตราไวโอเลตซึ่งเป็นคลื่นความร้อน(A.D. Tenner,2002:279-283)

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติของกระจกกรองแสงชนิดต่างที่มีการส่งผ่านของแสง และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

Visible Light Transmission/Solar Heat Gain Coefficient (per cent)				
Glazing system (6 mm glass)	**Clear**	**Blue-green**	**Grey**	**Reflective**
Single	89/81	75/62	43/56	20/29
Double	78/70	67/50	40/44	18/21
Double, hard low-e, argon	73/65	62/45	37/39	17/20
Double, soft low-e, argon	70/37	59/29	35/24	16/15
Triple, hard low-e, argon	64/56	55/38	32/36	15/17
Triple, soft low-e, argon	55/31	52/29	30/26	14/13

ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เกี่ยวกับกระจกหน้าต่างที่มีความสามารถอัจฉริยะ (smart windows)ในการปรับตัวเองได้ตามสภาวะแวดล้อม โดยในทางการค้ากระจกหน้าต่างประเภทนี้ค่อนข้างมีน้อยมากในท้องตลาด และยังมีอยู่แต่ในห้องปฏิบัติการวิจัยเท่านั้น โดยกระจกชนิดนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างในเรื่องของประสิทธิภาพในการปรับความเข้มสี และการส่งผ่านของแสง ซึ่งการทำงานของกระจกหน้าต่างประเภทนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้า หรือจากสัญญาณสภาวะแวดล้อมในอันที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับของแสงสว่าง ซึ่งจะขึ้นกับกลไกของการเปลี่ยนสถานะจากสารเคมีที่เคลือบอยู่ที่กระจก (Carl M.)

โดยเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิคได้มีการพัฒนาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระจกหน้าต่าง เนื่องจากความสามารถของการปรับความเข้มสี ซึ่งก่อให้เกิดการประหยัดการใช้พลังงานอีกทั้งสามารถลดการใช้เครื่องปรับอากาศและแสงสว่าง อีกทั้งสามารถป้องกันความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี Thermotropics และ Photocromics ที่มีความสามารถเป็นกระจกหน้าต่างปรับความเข้มสีอย่างแบบอัจฉริยะเช่นเดียวกันในการประยุกต์ใช้งานของทั้งสองเทคโนโลยีนี้ พบว่าไม่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน เนื่องจากการที่กระจกทั้งสองไม่สามารถควบคุมการใช้กำลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ อีกทั้งเทคโนโลยี photochromic ถูกใช้อย่างมากในกระจกกรองแสงโดยที่วัสดุ photochromatic จะมีการเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อได้รับการตอบสนองจากแสงอาทิตย์ แต่ในช่วงฤดูหนาวเมื่อมีแสงจากดวงอาทิตย์กระจกหน้าต่างแบบนี้จะไม่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพกับการใช้พลังงาน เพื่อให้เกิดความอบอุ่นแก่ภายในห้องจากการที่กระจกหน้าต่างมีการปรับเป็นสีเข้ม ดังนั้นทางเลือกของการหาเทคโนโลยีอื่นที่เหมาะสม ที่สามารถถูกพัฒนาเข้ามาแทนที่ดังเช่น Liquid Crystals, Suspended Particle devices(SPDs) และ Electrochromics เพื่อให้สามารถปรับความเข้มสีได้ตามความเหมาะสม เนื่องด้วยกระจกเหล่านี้มีการทำงานด้วยการควบคุมจากแรงดันไบอัส อีกทั้งยังสามารถใช้การควบคุมด้วยชุดไมโครโปรเซสเซอร์ ในการจัดการด้านพลังงานซึ่งในที่นี้มีอยู่ด้วยกัน 5 ประเภทคือ(Helen Rose,2004:250-254)

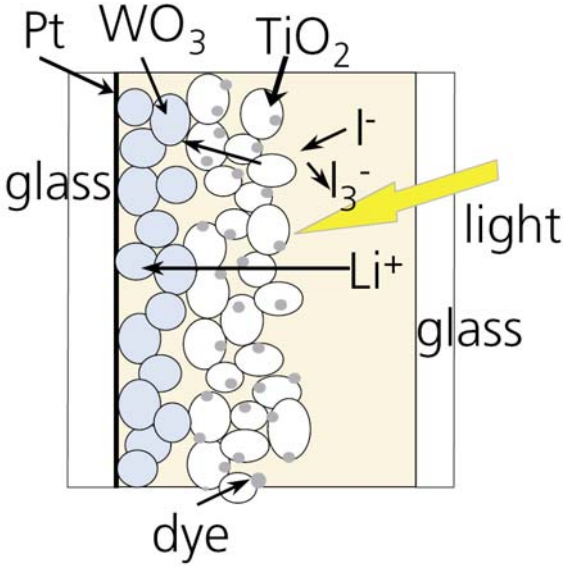
- Thermotropics
- Photocromics or photochromatics
- Liquid Crystrals
- Suspended Partical Displays
- Electrochromics

Photochromic Window System

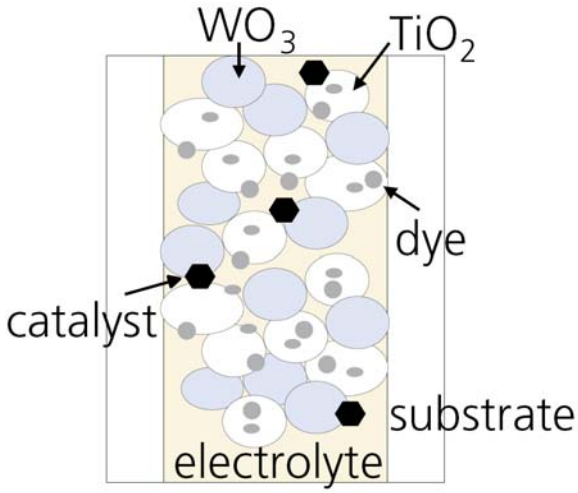
ระบบการทำงานของโฟโทรโครมิค (*Photochromic*) นั้นจะเป็นของการเกิดปฏิกริยาการให้สี และการลดลงของสีที่กลับไปมาได้เมื่อเปลี่ยนระดับความเข้มแสง โดยการทำงานของกระจกประเภทนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างของการทำงานนี้ค่อนข้างง่ายในการผลิต

ในระบบการทำงานเมื่อความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบกับกระจกโฟโทรโครมิค ที่เคลือบสารประกอบออกไซด์จะมีการเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้นโดยที่แสงสามารถผ่านออกไปได้ 60 % ถึง 4 % โดยภาพประกอบ 1 แสดงถึงหลักการทำงานของโฟโทรโครมิคแบบหลายชั้น ที่ภายใต้ความเข้มแสงจะพบว่ามีการแลกเปลี่ยนกันระหว่างโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นจาก ไททาเนียมไดออกไซด์ TiO_2 และอิเล็กตรอนถูกฉีดเข้าสู่ ทังสเตนออกไซด์ WO_3 โดยที่ทังสเตนออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้านี้จะถูกกำหนดจาก 2 กระบวนการด้วยกันคือ จากประจุบวกของ ลิเทียมไอออน(Li^+) ซึ่งสารอิเล็กโทรไลท์จะมีการการแทรกเข้าไประหว่างทังสเตนออกไซด์ และในเวลาเดียวกันนั้นประจุลบของอิออนไอโอไดด์(I^-) จะเป็นผลให้

อิเล็กตรอนจากสารอิเล็กโทรไลท์ ไปจับตัวกับโมเลกุลที่มีการเปลี่ยนสีที่เป็นสารออกไซด์ไอโอดีนโดยที่ไอออนจะเปลี่ยนไปเป็น ไตรไอโอดีนไอออน ในกระบวนการย้อนกลับที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนที่เริ่มต้นจาก ทังสเตนออกไซด์จะเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่ ไตรไอโอดีน(I_3) ไอออนในสารอิเล็กโทรไลท์ ปฏิกริยาย้อนกลับนี้โดยเริ่มต้นจะค่อนข้างเกิดช้าแต่สามารถเร่งให้เร็วขึ้น โดยการเพิ่มตัวเร่งปฏิกริยาด้วยธาตุบางชนิดเช่น เพลตทินัม(Pt) ดังนั้นเราจะพบว่าการปรับเปลี่ยนปฏิกริยาด้วยตัวเร่งปฏิกริยาจะมีประโยน์อย่างมากกับการเกิดการเปลี่ยนสีจากแสง แต่กระนั้นก็ตามผลของการเร่งปฏิกริยาการเกิดก็จะไปลดความสมดุลย์ของการเกิดสีได้ ดังนั้นความเหมาะสมของการทำปฏิกริยาโดยใช้ตัวเร่งนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวของสาร และการประยุกต์ใช้งาน ในภาพประกอบ 2 แสดงถึงทางการทำงานของกระจกที่ได้รับการเคลือบชั้นสารเพียงชั้นเดียว ภาพประกอบ 3 แสดงให้ทราบถึงแนวการทำงานของกระจกหน้าต่างแบบโฟโทรโครมิคที่ภายใต้แสงจากดวงอาทิตย์



ภาพประกอบ 1 หลักการทำงานของกระจกหน้าต่างแบบ โฟโทรโครมิค (Photochromic Window) ประกอบด้วยชั้นสารที่ซ้อนทับกัน โดยที่ฐานรองนั้นได้ถูกเคลือบด้วยชั้นโลหะเพลตตินั่ม และชั้นต่อไปเป็นชั้นของ นาโนพอรัสของสารประกอบทังสเตนออกไซด์ และ ไททาเนียมไดออกไซด์ โดยที่ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ผิวหน้านั้นจะมีการเปลี่ยนสี ซึ่งสารประกอบอิเล็กโทรไลท์ที่เป็นธาตุ ลิเทียมไอออน ไอโอดีนอิออน และ ไตรไอโอดีนอิออนที่ถูกเรียงตัวอยู่ในส่วนต่างๆของโมเลกุลไททาเนียม



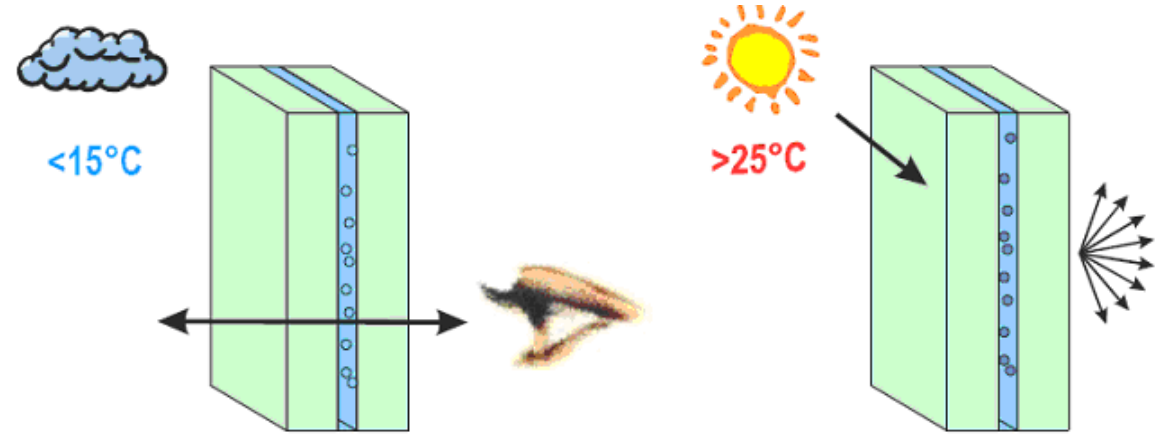
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของชั้นโฟโทรโครมิคแบบเดี่ยว โดยมีสารตัวเร่ง คะตาไลท์ ที่กระจายอยู่ทั่วโดยมีการจับตัวกับนาโนพอรัสที่ผิวด้านหน้าของชั้นออกไซด์ โดยในหลักการแล้วการย้อม หรือการเกิดสีขึ้นมานั้นเกิดจากการตกตะกอนโดยตรงกับสารประกอบทังสเตนออกไซด์

ภาพประกอบ 3 ส่วนประกอบของกระจกหน้าต่างแบบโฟโทรโครมิคสถานะก่อน และหลังการเปลี่ยนสีเมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์

Thermo chromic windows

คุณสมบัติการปรับความเข้มสีของกระจกหน้าต่างประเภทนี้ด้วยการเปลี่ยนแปลงความร้อน โดยที่สารเทอร์โมโครมิกที่เคลือบบนกระจกนั้นจะมีการตอบสนองกับความร้อน โดยเทคโนโลยีเทอร์โมโครมิก (thermochromic) ได้ถูกนำมาใช้กับกระจกหน้าต่างด้วยการเคลือบสารที่เป็นเจลขุ่น "Cloud Gel" บนพลาสติกบางๆแล้วนำไปติดลงบนกระจกสองชั้นร่วมกันกับวัสดุฉนวนความร้อน ที่มีความสามารถให้แสงผ่านได้โดยปกติแล้วจะมีค่าการถ่ายเทความร้อน ที่ $0.8 Wm^{-2}K^{-1}$ รวมทั้งการยอมให้แสงย่านที่ตามองเห็น

ได้ผ่าน และการถ่ายเทพลังแสงอาทิตย์ อยู่ในช่วง 0.64 ถึง 0.52 ที่อุณหภูมิต่ำ และ 0.37 ถึง 0.34 ที่อุณหภูมิสูง การเปลี่ยนแปลงของสีนั้นจะปรับเปลี่ยนอย่างอัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันภายนอก แต่จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงของความร้อน โดยที่ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส สารเทอร์โมโครมิกจะยอมให้แสงผ่านได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกินกว่า 25 องศาเซลเซียส สารนี้จะปรับเป็นสีเข้มโดยยอมให้แสงผ่านได้บางส่วนดังแสดงดังภาพประกอบ 4 และ 5



.

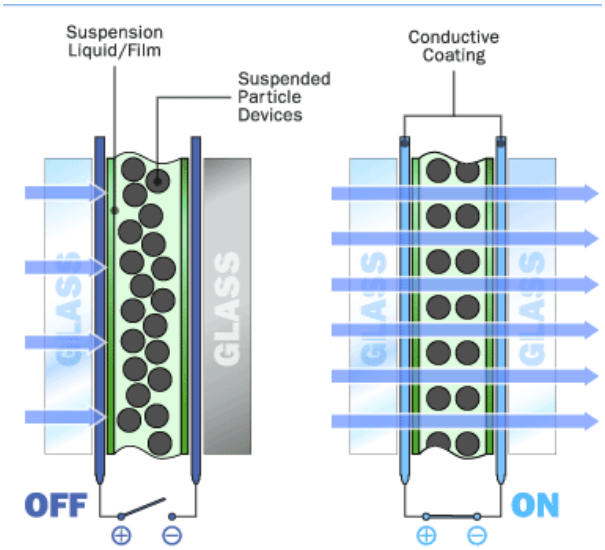
ภาพประกอบ 4 การให้แสงผ่านได้หมด และการแสงผ่านได้บางส่วน เมื่ออุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูงขึ้นเกินกว่า 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ภาพประกอบ 5 แสดงกระจกหน้าต่างที่ใช้เทคโนโลยีเทอร์โมโครมิก (thermochromic)จะมีการเปลี่ยนความเข้มสีเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิภายนอก

Suspended Particle Devices technology (SPD)

การทำงานของกระจกหน้าต่างนี้จะสร้างจากกระจกแผ่นเรียบที่เคลือบสารตัวนำ ที่แสงผ่านได้โดยมีสาร Suspended particle devices:SPD เคลือบเป็นฟิล์มบางแทรกอยู่ระหว่างกระจกทั้งสอง ซึ่งเป็นสารที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีความสามารถในการดูดกลืนแสง โดยกระบวนการควบคุมแสงที่ผ่านกระจก สามารถกระทำได้โดยในขณะที่ไม่จ่ายแรงดันไบอัส จะพบว่าอนุภาคของสารจะเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบซึ่งจะมีการดูดกลืนแสงไม่ให้ผ่านออกไป แต่เมื่อให้แรงดันไบอัสอนุภาคของสารจะมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบในแนวเดียวกันดังภาพประกอบ 6 ที่ยอมให้แสงผ่านทะลุออกไป ซึ่งปริมาณของแสงที่จะผ่านออกจากกระจก

นี้สามารถถูกควบคุมได้ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไบอัส การทำงานของกระจกหน้าต่างประเภทนี้จำเป็นที่จะต้องรัษาแรงดันไฟฟ้าให้จ่ายอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้แสงผ่านซึ่งเป็นข้อเสียอย่างยิ่ง ดังนั้นเมื่อเกิดปัญหากับระบบไฟฟ้าจะทำให้ไม่สามารถควบคุมความเข้มของสีได้ ซึ่งแสงสว่างก็จะไม่สามารถผ่านออกจากกระจกหน้าต่างได้



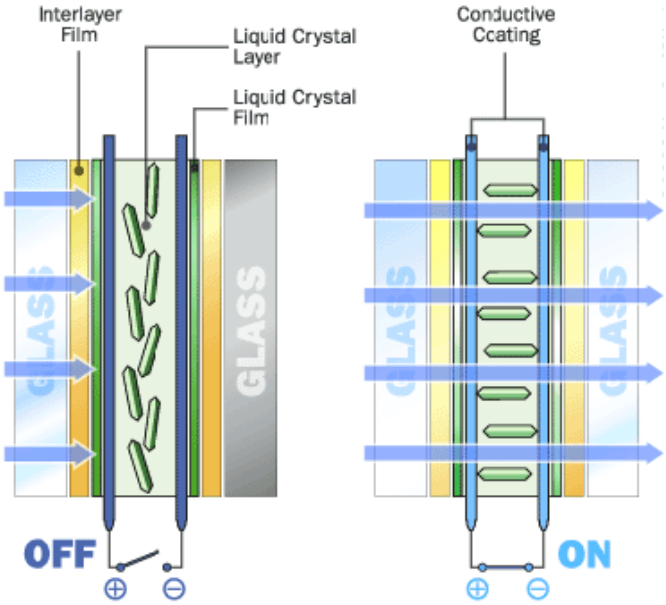
ภาพประกอบ 6 การให้แรงดันไบอัสเพื่อเป็นการจัดเรียงอนุภาคให้แสงผ่านได้

อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีประเภทนี้ ก็ยังไม่ใช่เทคโนโลยีกระจกปรับความเข้มแสงอัจฉริยะเดียวเท่านั้นที่จำกัดการส่งผ่านของแสงและความร้อน ยังมีเทคโนโลยีอื่นอีกเช่นเทคโนโลยีผลึกเหลว และอิเล็กโทรโครมิก ที่สำคัญไม่ยิ่งหย่อนกว่ากันดังจะกล่าวต่อไปนี้ซึ่งมีประสิทธิภาพและการตอบสนองทางไฟฟ้าที่ดีมากกว่า

Liquid Crystals

กระจกหน้าต่างที่สร้างจากเทคโนโลยีผลึกเหลวนี้เป็นอีกชนิดหนึ่ง ที่ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องมาในเวลาเดียวกันกับเทคโนโลยี Suspended particle devices โดยที่เทคโนโนโลยีผลึกเหลวได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์แสดงภาพที่ใช้กับคอมพิเตอร์ เครื่องคำนวณแบบดิจิตอล นาฬิกาข้อมือ รวมทั้งจอแสดงผลในอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ อย่างมากมาย ในอุปกรณ์แสดงภาพแบบผลึกเหลว จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ผลึกนั้นยอมให้แสงผ่านแสดงผล และจอแสดงตัวเลข โดยเทคโนโลยีนี้จะคล้ายคลึงกับโครงสร้างผลึกเหลวจากสารโพลีเมอร์ polymer dispersed liquid crystals (PDLCs) ที่มีการใช้อยู่กับกระจกหน้าต่างปรับความเข้มสีได้ โดยการทำงานของกจกหน้าต่างแบบนี้ เกิดจากตัวเนื้อสารผลึกเหลวที่

เป็นแผ่นฟิล์มบางเคลือบอยู่ระหว่างกระจกที่ได้รับการเคลือบสารตัวนำโปร่งแสงเพื่อใช้ในการต่อเชื่อมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยสารผลึกเหลวนี้จะมีการตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงกับกระแสไฟฟ้า โดยเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าในสถานะเปิด (ON) ผลึกเนื้อสารนั้นจะเกิดการเรียงตัวอย่างขนานและแสงสามารถผ่านไปได้ แต่เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นสถานะปิด (OFF) กับผลึกเหลวที่อยู่ระหว่างกระจกทั้งสองดังในภาพประกอบ 7 แสดงถึงผลการเกิดการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้แสงไม่สามารถผ่านออกจากกระจกหน้าต่างไปได้ การทำงานของกระจกประเภทนี้มีสมบัติทางแสงด้วยกันสองสถานะ คือ “เปิดและปิด” จากแหล่งจ่ายภายนอก ส่วนของการยอมให้แสงผ่านได้นั้น พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างแสงจากภายนอกที่เข้าสู่ภายในของห้องน้อยมาก อีกทั้งยังต้องใช้แหล่งจ่ายคงที่ตลอดเวลาในการปรับการทำงานในสถานะ(ON) ดังนั้นกระจกหน้าต่างแบบที่ใช้สารผลึกเหลวนี้จึงไม่เป็นที่นิยม ดังนั้นกระจกหน้าต่างประเภทนี้จึงไม่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานกับอาคารและที่พักอาศัย



ภาพประกอบ 7 การจ่ายแรงดันไฟฟ้าในสถานะเปิด (ON) ผลึกเนื้อสารจะเกิดการเรียงตัวขนานกันและแสงสามารถผ่านไปได้ แต่เมื่อกระแสไฟฟ้าไม่ได้จ่ายในสถานะปิด (OFF) ผลึกจะเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบแสงจะไม่สามารถผ่านออกจากกระจกหน้าต่าง

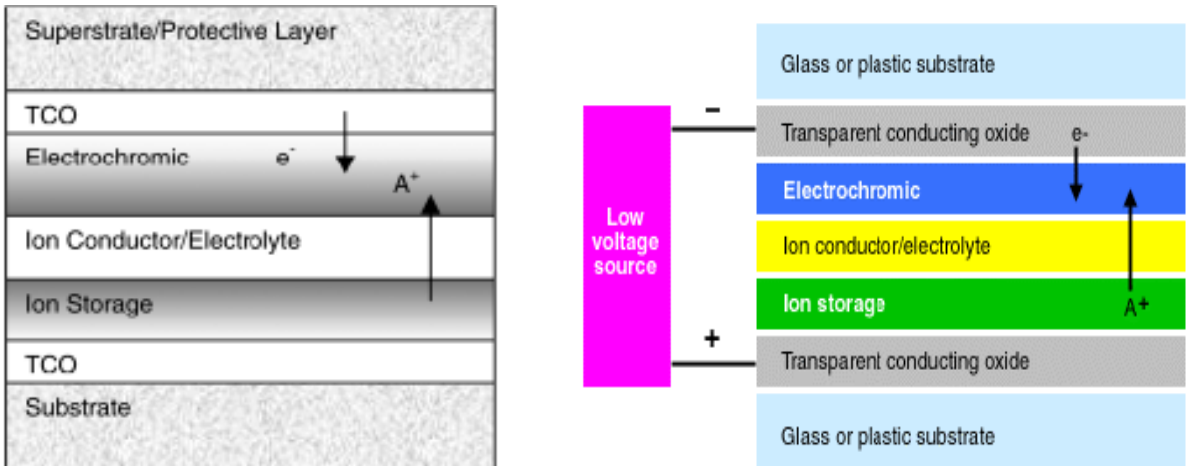
ดังนั้นเมื่อรวมถึงปัญหาต่างๆของวัสดุที่ได้ถูกนำมาใช้ในการปรับการส่งผ่านของแสงแล้ว จึงได้มีการพัฒนาวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิก ด้วยการทำงานจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเมื่อได้รับการจ่ายแรงดัน ทำให้สามารถปรับความเข้มของสีบนกระจกพร้อมทั้งยังมีความสามารถในการคงสภาพของสี ด้วยความสามารถดังกล่าว นักวิทยาศาตร์และนักวิจัยทั้งหลายได้มีการพัฒนาวิจัยเผยแพร่และตีพิมพ์ผลงานต่างๆออกมาเป็นจำนวนมาก และการจดสิทธิบัตรกันอยู่ในเวลานี้ ในงานวิจัยที่มีขึ้นทุกวันนี้เป็นผลอัน

เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยการใช้วัสดุอิเล็กโทรโครมิคเคลือบลงบนกระจกร่วมกับการใช้กระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าเพื่อปรับความเข้มของสี โดยที่ประโยชน์อย่างแรกที่ได้รับจากวัสดุการใช้วัสดุเคลือบบนกระจกโปร่งแสง จากผลของปฏิกริยาเคมีดังกล่าวเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากธรรมชาติในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นคุณสมบัติความในการควบคุมการให้แสงผ่านกระจก โดยเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิกสามารถที่จะทำการปรับลดแสงสว่างและควบคุมความร้อนในเวลากลางวัน อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ฉนวนป้องกันความเย็นในเวลากลางคืนได้ จากการศึกษาอย่างกว้างขวางนั้นพบว่าการปรับความเข้มอ่อนของสีบนกระจก ตามหลักเคมีไฟฟ้าจากการให้แรงดันกับกระจกปรับความเข้มสี เป็นผลทางต่อการประหยัดพลังงานที่มากกว่ากระจกกรองแสงแบบคงที่ ดังนั้นเองเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิก สามารถสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดตลอดทั้งวันได้อย่างแน่นอน สำหรับทางด้านสถาปัตยกรรมสิ่งปลูกสร้างนั้น ในช่วงเวลากลางวันเมื่อได้รับรังสีที่แผ่มาจากแสงอาทิตย์ เทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิกจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงาน และสามารถช่วยเพิ่มแสงสว่างและความอบอุ่นได้ในช่วงฤดูหนาว เพื่อลดค่าใช้จ่ายของเครื่องทำความร้อนในประเทศแถบยุโรป อเมริกา และ เอเชีย (S. Selkowitz,1998:1-10)

เทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิกเป็นกระบวนการที่เป็นการปรับเปลี่ยนสีจากผลของปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีที่สามารถตอบสนองผลประโยชน์โดยตรงต่องานด้านสถาปัตยกรรม และการประยุกต์ใช้งานกับกระจกกรองแสงรถยนต์ โดยการออกแบบให้สามารถใช้งานได้อย่างง่าย และสามารถประกอบรวมเข้ากันกับการทำงานในรูปแบบอื่นๆได้ดี โดยที่การออกแบบกระจกที่ปรับความเข้มสีจากปฏิกริยาไฟฟ้าเคมี มีคุณสมบัติการตอบสนองต่อแสงภายใต้สนามไฟฟ้า และสามารถเปลี่ยนกลับไปยังสถานะเริ่มต้นได้ ด้วยการให้สนามไฟฟ้าย้อนกลับ โดยที่อุปกรณ์ชนิดนี้มีลักษณะเฉพาะตัวที่สำคัญดังนี้

- ใช้แรงดันไบอัสต่ำ ขนาดเพียง (1-5V)
- แสดงการสะท้อนแสงได้ดี
- สามารถควบคุมความเข้มของสีได้ดี
- ต้องการใช้พลังงานในช่วงที่เปลี่ยนสถานะเท่านั้น
- คงสภาพความเข้มของสีได้นานถึง 12-48 ชั่วโมงเมื่ออยู่ในสถานะเปิดวงจร(ภายหลังการไบอัส)
- สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ $-20^{o}C$ ถึง $80^{o}C$
- ระยะเวลาการเกิดสีและการจางหายไปของสีนั้นในช่วงมิลลิวินาที(ms)-วินาที(sec)
- สามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่ได้โดยมีความสามารถทางแสงอย่างเด่นชัด
- ความต่อเนื่องในสภาพที่มีแสงอาทิตย์ และการส่งผ่านทางแสง การสะท้อนแสง และการดูกลืนทางแสงนั้นจะอยู่ในสถานะที่สีจางหายไป(bleached) และสถานะที่มีสี(colored)

สารประกอบออกไซด์ที่ได้รับความสนใจในเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิกดังนี้คือ สารประกอบทังสเตนออกไซด์ (WO_3 : สารประกอบประเภทนี้จะถูกใช้อยู่อย่างบ่อยครั้ง) นิเกิลออกไซด์ NiO อิลิเดียมออกไซด์ IrO_x วานาเดียมออกไซด์ V_2O_5 และ โมลิบดีนัมออกไซด์ MoO_3 กระจกที่ได้ทำการเคลือบสารในการทำปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนสี จำเป็นที่จะต้องใช้สารประกอบอิเล็กโทรไลท์ที่มีประจุอิออนผสมอยู่โดยการบรรจุอยู่ให้ใกล้มากที่สุดกับชั้นของสารที่เคลือบอยู่บนกระจกที่จะเกิดเป็นแสงออกมาได้ ดีเท่าเทียมกันกับชั้นเนื้อสารที่เคลือบอยู่บนกระจกที่แสงสามารถผ่านไปได้ตามการกระจายของสนามไฟฟ้า ดังนั้นเสถียรภาพของปฏิกริยาเคมีสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ชั้นของสารเคมีในการเกิดสีจากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าให้ผิวหน้าเกิดซ้อนทับกันเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนประจุอิออนระหว่างกัน(A.L. Holt.2005:86-88) การออกแบบอุปกรณ์ประเภทนี้นั้นมุ่งให้ประจุอิออนพุ่งออกย้อนกลับไปมาภายในชั้นของสารที่เคลือบบนกระจก เพื่อให้เกิดสีขึ้นมาเมื่อได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า และจางหายไปด้วยการให้แรงดันย้อนกลับ ในการเคลือบสารที่เกิดสีบนกระจกจากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้า สามารถสร้างขึ้นสารประกอบที่มีความโปร่งใสอย่างมากสุดเป็นจำนวนห้าชั้นหรือน้อยกว่านั้นจากชั้นของตัวนำที่โปร่งแสงสองชั้น อีกทั้งสารประกอบอิเล็กโทรไลท์ หรือไอออนของตัวนำ อีกทั้งส่วนของขั้วไฟฟ้า และชั้นของสารเคมีที่ก่อให้เกิดสีในปฏิกริยาเคมี ดังแสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 โครงสร้างของชั้นสารเคมีที่เคลือบลงบนกระจกในเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิก โดยที่โครงสร้างนี้จะเป็นการเรียงตัวซ้อนทับกันตามแนวตั้งจากเงื่อนไขในกรณีนี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดสีเมื่อมีการแลก เปลี่ยนประจุในวัสดุธาตุที่มีประจุบวกคือทังสเตนออกไซด์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

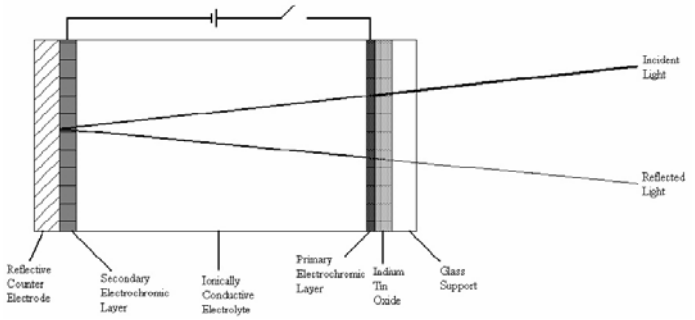
1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ฟิล์มโลหะออกไซด์ด้วยวิธีไอระเหยโลหะออกไซด์ของ WO_3 ในเครื่องสูญญากาศ
2. ศึกษาเงื่อนไขที่มีผลต่อการสร้างฟิล์มโลหะออกไซด์ ของ ทังสเตนออกไซด์ เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ดีที่สุด
3. ศึกษาสมบัติของ WO_3 ทางกายภาพ และสมบัติทางไฟฟ้า กับสารประกอบอิเล็กโทรไลท์ในการเกิด switching time ต่อการปรับเพิ่ม และลดความเข้มสี
4. วิเคราะห์ความต่อเนื่องในสภาพที่มีแสงและการส่งผ่านทางแสง การสะท้อนและการดูดกลืนแสงทางแสงนั้นจะอยู่ในสถานะที่สีจางหายไป (Bleached) และสถานะที่มีสี (Colored)

คำถามการวิจัย

1. การวิจัยนี้เพื่อมุ่งเน้นการประหยัดพลังงานและลดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่
2. แนวทางการประยุกต์ใช้ในอนาคตมีผลอย่างไรต่อภาคเศรษฐกิจและสังคม
3. ผลที่ได้จากการวิจัยอาจจะก่อให้เกิดการสร้างงานวิจัยใหม่ให้กับนักวิจัยหรือไม่
4. การวิจัยนี้จะส่งผลต่อการวิจัยที่ต่อเนื่องเพื่อการประยุกต์ในภาคอุตสาหกรรมมากน้อยเพียงใด

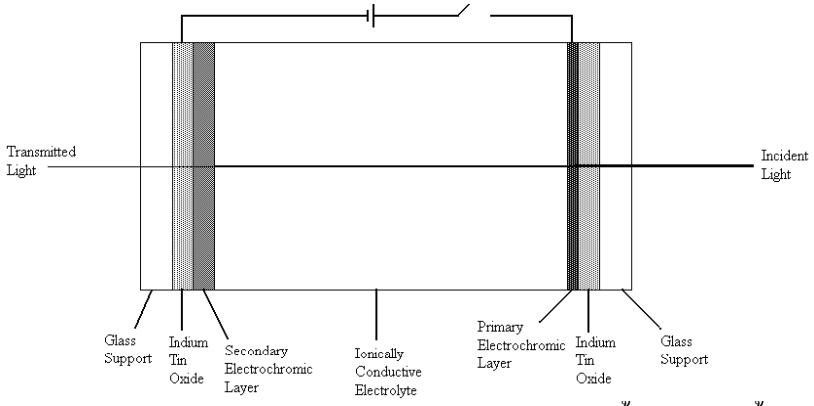
สมมุติฐานการวิจัย

หลักการทำงานของการเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิก นี้จะแสดงให้ทราบถึงการสะท้อนแสง และการส่งผ่านของแสงที่เข้าสู่อุปกรณ์ชนิดนี้ โดยในการสะท้อนแสงจะเป็นการทำงานของธาตุที่จะเกิดสี เพื่อการสะท้อนแสงซึ่งเคลือบลงบนขั้วไฟฟ้าที่ใช้สะท้อนแสงที่ด้านตรงกันข้าม โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการออกแบบสร้างฟิล์มบางของสารประกอบออกไซด์เช่นสารประกอบของ ทังสเตนออกไซด์ ลงบนกระจกที่เคลือบสารโลหะออกไซด์โปร่งแสงประเภท อินเดียมทินออกไซด์ (Indium tin oxide: ITO) โดยขั้วโลหะที่ใช้ในการสะท้อนแสงนี้จะมีชั้นของวัสดุที่จะเกิดแสงจากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าได้เป็นชั้นที่สอง จากนั้นก็จะมีชั้นของสารอิเล็กโทรไลติคเจลอยู่ด้านบน โครงสร้างการทำงานในสถานะในการสะท้อนแสงแสดงดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 แสดงโครงสร้างการทำงานในการสะท้อนแสงของสิ่งประดิษฐ์ที่เปลี่ยนสีจากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้า

กระบวนการของเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิก จะอาศัยความสามารถของการดูดกลืนแสงพร้อมทั้งการสะท้อนแสงได้จากธาตุเพลทตินั่ม (platinum :Pt) หรือ โลห์เดียมอัลลอยด์(rhodium alloy) โดยหลักแล้วประโยชน์ที่ได้รับจากระบบนี้เมื่อสารที่ใช้ในการเปล่งสีต้องการความหนาเพียงครึ่งเดียวที่ทำให้แสงผ่านเข้าสู่ด้านในทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าหรือการแลกเปลี่ยนอิออนในปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าระหว่างสารอิเล็กโทรไลติค กับสารที่ให้สีจากสารประกอบออกไซด์ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วมากในขั้นตอนของระบบการทำงานให้แสงผ่านยังตัวอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์ที่ปรับตวามเข้มสีจากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าจะมีการทำงานด้วยการให้แรงดันย้อนกลับ จะพบว่าประจุอิออนจะไหลกลับในทิศทางตรงกันข้าม ออกจากส่วนเนื้อสารที่จะมีการเปลี่ยนสี ไปยังส่วนของชั้นที่มีการนำประจุนั่นคือชั้นของอิเล็กโทรไลท์ และกลับเข้าสู่ชั้นที่เก็บประจุอิออน ดังนั้นประจุอิออนจะถูกเคลื่อนออกจากชั้นของเนื้อสารที่เกิดการเปลี่ยนสี ซึ่งในสถานะนี้จะทำให้สีจางลงและแสงสามารถผ่านออกไปได้ เมื่อแสงได้พุ่งผ่านเข้าสู่ตัวสิ่งประดิษฐ์ชนิดนี้ในทิศทางตั้งฉากกับกระจก ดังแสดงจากภาพประกอบ 10 นั้นเป็นการที่แสงผ่านเข้าสู่ตัวอุปกรณ์อิเล็กโทรโครมิคที่ปรับความเข้มสีจากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าเมื่อได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ(Reverse bias)



ภาพประกอบ 10 แสดงโครงสร้างการทำงานในการให้แสงผ่านเข้าสู่ภายในชั้นสารและขั้วโลหะโปร่งแสงที่เคลือบอยู่บนกระจกจากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนการให้แรงดันย้อนกลับ

สิ่งประดิษฐ์จากวัสดุอิเล็กโทรโครมิคซึ่งเป็นวัสดุประเภทสารออกแกนิค สารอินออร์แกนิค และสารประกอบโพลิเมอร์ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสี และการให้แสงผ่านเพื่อการมองเห็น ซึ่งเป็นผลจากสนามไฟฟ้า และผลของปฏิกริยาทางเคมีไฟฟ้าที่เป็นปฏิกริยาย้อนกลับ หรือปฏิกริยารีด็อกซ์ซึ่งเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนทั้งการให้ หรือส่งอิเล็กตรอน หรือประจุอิออนเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนของความเข้มสี ความสำคัญของกระจกหน้าต่างที่ได้รับการเคลือบสารอิเล็กโทรโครมิคจะมีความสามารถตอบสนอง หรือ การรับรู้ต่อสภาวะการภายนอก เพื่อผลในการควบคุมการทำงานได้อย่างอัจฉริยะซึ่งเป็นสมบัติของกระจกหน้าต่างอัจฉริยะ “Smart window” ในการปรับความเข้มสี และการสะท้อนคลื่นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ซึ่งทำให้ลดอัตราการขยายตัวทางความร้อนได้ดี (E. Avenda no.2006:30-36) เป็นผลให้การใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสามารถปรับปรุงผลกการดำเนินงานการผลิตทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน

ระบบการทำงานของของสารละลายประเภทออร์แกนิค (Organic) จะเป็นสารประกอบพวก ไวโอโลเจน, แอนทราคิโนเนส, ดิพทราโลไคนินส์ และ เตรทราไทฟูวาเลนส์ ซึ่งในสารประกอบออร์แกนิคจะมีการเกิดสีด้วยผลของปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งเป็นผลของปฏิกริยาที่เกิดขึ้นได้สองอย่างซึ่งมีทั้งไปและกลับ โดยองค์ประกอบของไวโอโลเจน ในปฏิกริยาย้อนกลับในลำดับที่สองของการเปลี่ยนความเข้มสีนั้นค่อนข้างมีปัญหา เนื่องจากผลของส่วนของสารที่เกิดปฏิกริยารีด็อกซ์นั้นละลายเจือจางอยู่สารอิเล็กโทรไลท์ ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแพร่เข้าไปในส่วนของขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งจะก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าจ่ายกลับเข้าไปในวงจร ปัญหาอีกสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อนำแหล่งจ่ายแรงดันออกจากตัวเซลล์กระจกแล้วจะพบว่าบางส่วนของประจุอิออนจะเกิดการส่งถ่ายออกอกมา ทำให้สีที่มีอยู่นั้นจางหายไปในลักษณะนี้จะไม่มีการจดจำค่าสีไว้คงที่ตลอด ทำให้ตัวเซลล์กระจกต้องทำการจ่ายแรงดันไว้ตลอดเวลาเพื่อให้เกิดการคงสภาพของสีซึ่งในลักษณะนี้เป็นผลที่ไม่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน

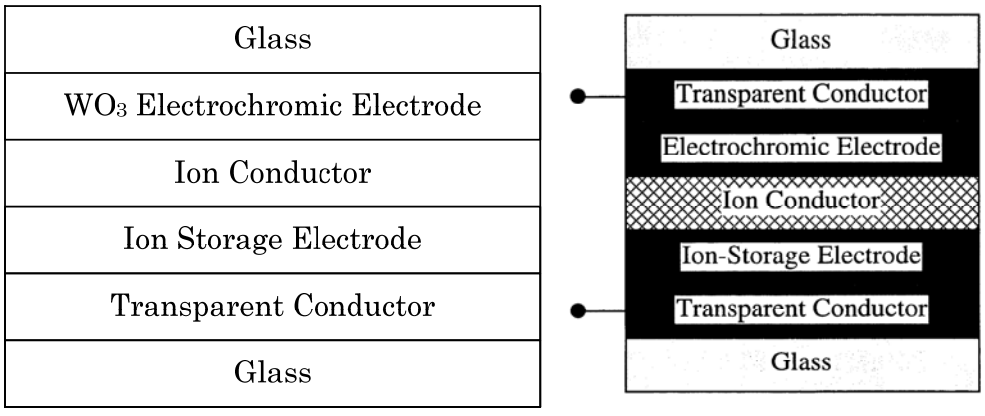
ดังนั้นจากแนวทางต่อมาได้มีการพัฒนาในสารประกอบพวกอินออร์แกนิค (Inorganic) ได้ถูกพัฒนานำมาใช้เป็นสารประกอบโลหะออกไซด์ โดยที่สารประกอบดังกล่าวมีหน้าที่สองอย่างคือการฉีดประจุที่เป็นคาโทดิค (cathodic) หรือขับอิออนที่เป็น อาโนดิค (anodic) (ประจุบวก) และอิเล็กตรอน(ประจุลบ) ปฏิกริยาในการเกิดสีของสารประกอบนี้สามารถแสดงได้ด้วยสมการเคมีทางด้านคาโทดิค (cathodic) ดังนี้

WO_3 (transparent)+ $yH^+ + ye^- \Leftrightarrow H_YWO_3$ (blue)

และปฏิกริยาในการเกิดสีของสารประกอบด้วยสมการเคมีทางด้าน อาโนดิค(anodic) ดังนี้

$Ni(OH)_2$ (transparent) NiOOH (bronze) + $H^+ + e^-$

โดยมีประจุอิออนที่มีการปฏิกริยาก่อให้เกิดสีคือ Li^+, H^+, Na^+, Ag^+ ที่ได้จากสารอิเล็กโทรไลท์ ซึ่งวัสดุอิเล็กโทรโครมิคที่เป็นสารอินออร์แกนิคที่ได้รับความสนใจนำมาศึกษาคือสารประกอบโลหะออกไซด์ของ $W0_3$, NiO, MoO_3, and IrO_x โดย สารประกอบเหล่านี้จะเป็นกลุ่มธาตุโลหะออกไซด์ในธาตุทรานซิชัน แต่ก็ยังมีกลุ่มธาตุอื่นอีกเช่น TiO_2 and NbO_2 ที่มีโครงผลึกขนาดเล็กแบบนาโน โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์อิเล็กโทรโครมิค ประกอบด้วยขั้วโลหะโปร่งแสงที่ใช้ในการนำไฟฟ้า และเกิดการจายของสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้า โดยมีการเคลือบฟิล์มบางของสารโลหะออกไซด์ที่เป็นอิเล็กโทรโครมิค ซึ่งมีประจุอิออนบวกเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน และสารอิเล็กโทรไลท์ที่ใช้ในการนำประจุอิออน เรียงตามลำดับเป็นชั้นเรียงลำดับกันซึ่งโดยส่วนใหญ่จะสร้างขึ้นห้าชั้นความหนา หรือน้อยกว่าก็ได้ เมื่อตัวเซลล์ของกระจกอิเล็กโทรโครมิคได้รับการจ่ายแรงดันจะทำให้ประจุอิออนของ Li^+ หรือ H^+ และอิเล็กตรอนนั้นถูกฉีดเข้าไปยังสารประกอบโลหะออกไซด์ที่เป็นส่วนของชั้นอิเล็กโทรโครมิค เช่น ทังสเตนออกไซด์ก็จะแสดงสมบัติของการเปลี่ยนความเข้มสีในชั้นของอิเล็กโทรโครมิค ดังนั้นจากผลของเทคโนโลยีของอิเล็กโทรโครมิคเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เทคโนโลยีอื่น พบว่ามีคุณสมบัติของการจำในตัวเซลล์จากปฏิกริยารีด็อกซ์ ที่มีอยู่บริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า หรือการที่ชั้นประจุถูกเก็บสะสมนี้จะยังคงอยู่จนกว่าจะมีการให้แรงดันอีกครั้งเพื่อเป็นการย้อนกลับปฏิกริยารีด็อกซ์ นั่นหมายถึงการที่เมื่อแหล่งจ่ายแรงดันได้ถูกนำออกจากวงจร แล้วความเข้มของสีก็ยังคงสภาพอยู่เป็นเวลานาน ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้ไม่ต้องใช้พลังงานกับตัวเซลล์อิเล็กโทรโครมิค ในภาพประกอบ 11(ก),(ข) นี้แสดงโครงสร้างของเซลล์กระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคที่ออกแบบเป็นชั้นเรียงซ้อนกัน ซึ่งประกอบด้วยชั้นของขั้วตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงที่เป็นฟิล์มบางเคลือบบนกระจกต่อไปเป็นชั้นที่มีการเก็บสะสมประจุ จากนั้นเป็นชั้นของอิเล็กโทรไลท์หรือชั้นการนำอิออน ในลำดับต่อไปเป็นชั้นของสารประกอบออกไซด์ที่เป็นส่วนของอิเล็กโทรโครมิคที่มีการเปลี่ยนความเข้มสี ในลำดับสุดท้ายคือชั้นของขั้วตัวนำไฟฟ้าโปร่งแสงเคลือบบนกระจกแล้วทำการผนึกผิวด้านข้างของกระจกให้สนิทเพื่อป้องการเสื่อมสภาพของเนื้อสารที่เคลือบอยู่ (Gavin Tulloch,1997:426-432)



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 11 โครงสร้างภาคตัดขวางของกระจกอิเล็กโทรโครมิคที่เรียงกันเป็นชั้นในแนวตั้ง

ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้สามารถสร้างต้นแบบสิ่งประดิษฐ์อิเล็กโทรโครมิคสร้างจากสารประกอบโลหะออกไซด์ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะใช้สารประกอบทังสเตนออกไซด์เป็นพื้นฐานของการสร้าง รวมทั้งขั้วโลหะโปร่งแสงจากสารประกอบ อินเดียมทินออกไซด์และสารประกอบอิเล็กโทรไลท์ที่ให้ประจุโปรตรอนในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน จากนั้นจะเป็นการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าจากสิ่งประดิษฐ์อิเล็กโทรโครมิคที่มีการแลกเปลี่ยนประจุอิเล็กตรอน ซึ่งความเข้มสีของกระจกที่เพิ่มขึ้นจากแรงดันกระแสตรง และยังสามารถปรับลดความเข้มสีได้ด้วยการให้แรงดันในย้อนกลับซึ่งเป็นแรงดันที่มีขั้วต่างกัน อีกทั้งเมื่อนำแรงดันจากแหล่งจ่ายกระแสตรงออกไปความมเข้มของสีก็ยังคงสภาพอยู่ได้เป็นเวลานานและทำการทดสอบการส่องผ่านของแสง

นิยามศัพท์

Electrochromic device คือสิ่งประดิษฐ์อิเล็กโทรโครมิคสารประกอบออกไซด์ที่ทำปฏิกริยาไฟฟ้ากับสารประกอบอิเล็กโทรไลท์ เมื่อได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสี

Smart materials คือวัสดุที่มีความสามารถจะปรับตัวเองได้ตามเงื่อนไขของสภาวะแวดล้อม โดยจะขึ้นกับกลไกของการเปลี่ยนแปลงของการสวิทซ์เปลี่ยนสถานะจากสารเคมีด้วยการทำงานร่วมกับการควบคุมจากแรงดันไบอัส

Redox reaction หมายถึง ปฏิกิริยาเกี่ยวกับการถ่ายเท e^-เป็นกระบวนการทางเคมีที่ทำให้เลข oxidation ของธาตุเปลี่ยนไป แบ่งได้ 2 ปฏิกิริยาย่อย คือ Oxidation Reaction เป็นปฏิกิริยาที่สารเสีย e^- หรือสารมีการเพิ่มเลข oxidation Reduction Reaction เป็นปฏิกิริยาที่สารรับ e^- หรือ สารมีการลดเลข oxidation สารที่ให้ e- เรียกว่า ตัว reduce (Reducer) สารที่รับ e- เรียกว่า ตัว oxidize (Oxidizer) ปฏิกิริยาใดไม่มีการเปลี่ยนแปลง oxidation number เรียกว่า Non-redox Reaction