บทที่ 1 บทนำ

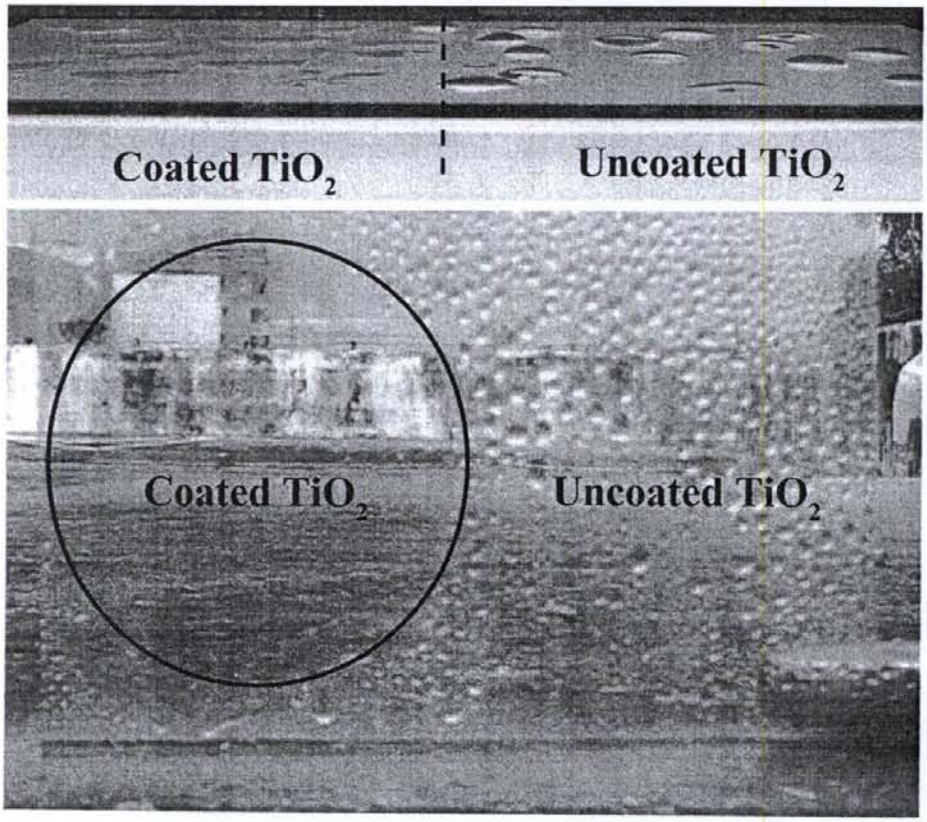
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันได้มีการนำกระจกมาใช้เป็นผนังอาคาร หน้าต่าง และบานประตูแทนที่ผนังซีเมนต์ และวัสดุอื่น ๆ เป็นอย่างมาก และยังมีแนวโน้มการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้เป็นผลมาจากความต้องการให้ตัวอาคารมีความสวยงาม ดูโปร่งแสง สามารถนำแสงจากดวงอาทิตย์มาใช้ได้อย่างมีประโยชน์ และยังทำให้สามารถมองผ่านออกไปเพื่อดูทัศนียภาพภายนอกอาคารได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังมี ตัวถัง อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้กระจกเป็นส่วนประกอบ เช่น กระจกรถยนต์ หน้าจอโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งกระจกที่นำมาใช้งานในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยในแง่มุมต่าง ๆ เช่น การวิจัยเพื่อพัฒนาให้กระจกเป็นตัวสะท้อนคลื่นความร้อน(Infrared: IR) ดูดกลืนคลื่นแสงช่วงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet: UV) และส่งผ่านแสงช่วงตามองเห็น (Visible: Vis) การวิจัยพัฒนาเพื่อใช้กระจกเป็นอุปกรณ์ที่ดึงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

กระจกที่นำมางานใช้ในด้านต่าง ๆ จำเป็นต้องคอยดูแลรักษา เนื่องจากมีฝุ่นละออง หมอก ไอน้ำ คราบน้ำมัน และสิ่งสกปรกต่าง ๆ มาจับเกาะ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่าย และเสียเวลาเพื่อคอยดูแลรักษาทำความสะอาด อีกทั้งกระจกที่ใช้เป็นผนังอาคารของตึกสูง ๆ ยังมีความยุ่งยากในการทำความสะอาด นอกจากนี้ยังพบว่าอากาศภายใน และภายนอกอาคารยังประกอบด้วยพวกจุลชีพ ที่เป็นเชื้อโรค ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่อาจทำให้ผู้อยู่อาศัยเจ็บป่วยได้ ปัจจุบันจึงมีความพยายามค้นคว้าวิจัยฟิล์มเคลือบกระจกที่มีสมบัติพิเศษที่ทำให้กระจกสามารถทำความสะอาดด้วยตัวเอง ลดการจับเกาะของฝุ่นละออง หมอก และไอน้ำ อีกทั้งยังช่วยทำให้อากาศที่อยู่ภายในตัวอาคารและภายนอกอาคารมีความบริสุทธิ์ มากขึ้น

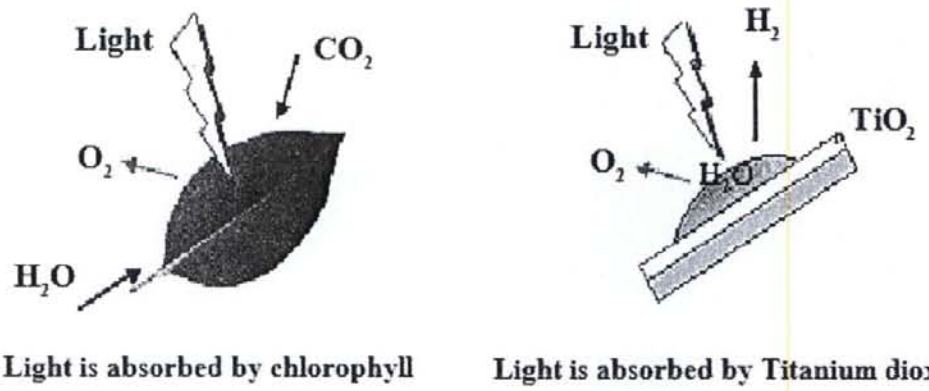
จากสมบัติดังกล่าวทำให้กระจกที่นิยมใช้สำหรับอาคารสูงในอนาคตนั้นคือ “กระจกสะอาดด้วยตัวเอง” หรือ “self-cleaning glass” กระจกชนิดนี้มีบริษัท Pilkington ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตรายแรก และต่อมาก็มีผู้ผลิตกระจกรายใหญ่อีกหลายรายที่เข้ามาให้ความสนใจและผลิตกระจกชนิดนี้ด้วยเช่นกัน กระจกสะอาดด้วยตัวเองนี้เริ่มได้รับความสนใจเมื่อประมาณ 2 ปีที่แล้วและเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะในแถบยุโรปและกำลังเริ่มขยายไปในส่วนต่าง ๆ ของโลก และในอนาคตกระจกชนิดนี้จะเริ่มเป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทยโดยเฉพาะในอาคารสูง เพราะไม่ต้องส่งคนขึ้นไปเสี่ยงอันตรายในการทำความสะอาด นอกจากนั้นทัศนะวิสัยการมองผ่านขณะที่มีฝนตกก็ยังดีกว่ากระจกธรรมดาอีกด้วย

กระจกสะอาดด้วยตัวเองเป็นกระจกที่มีชั้นโลหะออกไซด์เคลือบบาง ๆ ซึ่งชั้นโลหะออกไซด์นี้จะประกอบไปด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 40-50 nm โดยมีสมบัติที่เป็นโฟโตคะตะลิซิส (Photo catalysis) ของชั้นไททาเนียมไดออกไซด์ที่เมื่อรับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีอยู่ในแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นตัวช่วยในการทำปฏิกิริยาระหว่างไอน้ำและสารอินทรีย์ทำให้สารอินทรีย์มีโมเลกุลที่เล็กลงหรือช่วยทำลายเชื้อโรคที่มาจับเกาะอยู่บนกระจก ทำให้เกิดการย่อยสลายของคราบสกปรกที่เกาะอยู่บนไททาเนียมไดออกไซด์เป็นชั้นเคลือบด้านบนสุดของกระจก และเพียงมีน้ำมาชะล้าง เช่น น้ำฝนที่ตกกระทบ ก็เพียงพอที่จะชะล้างคราบสกปรกที่ถูกย่อยสลายไปก่อนหน้านี้แล้วให้ไหลไปกับน้ำ กระจกก็จะใสสะอาดโดยไม่ต้องส่งคนขึ้นหลังคาหรือตึกสูงเพื่อเช็ดทำความสะอาด อีกทั้งไททาเนียมไดออกไซด์มีสมบัติที่เป็นไฮโดรฟิลิกหรือฟิล์มชอบน้ำ (Hydrophilic) ขณะที่ได้รับแสง UV เพียงเล็กน้อย ถ้ามีน้ำหยดบนผิวฟิล์มหยดน้ำจะมีมุมสัมผัส (Contact angle) ที่ต่ำ มีลักษณะแบนราบไปตามพื้นผิวฟิล์มดังรูปที่ 1.1 ทำให้น้ำที่มาจับเกาะระเหยไปอย่างรวดเร็วและชะล้างนำเอาฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกออกไปด้วย ด้วยเหตุผลของการชอบน้ำของกระจกนี้เองทำให้สามารถนำกระจกชนิดนี้ไปใช้กับกระจกรถยนต์ กระจกมองข้าง ทำให้สามารถมองเห็นภาพภายนอกได้ชัดกว่าขณะฝนตก หรือกระจกภายในอาคารที่ไม่ต้องการให้มีไอน้ำมาเกาะทำให้กระจกไม่เป็นฝ้าและไม่เกิดเม็ดของหยดน้ำเกาะบนกระจก

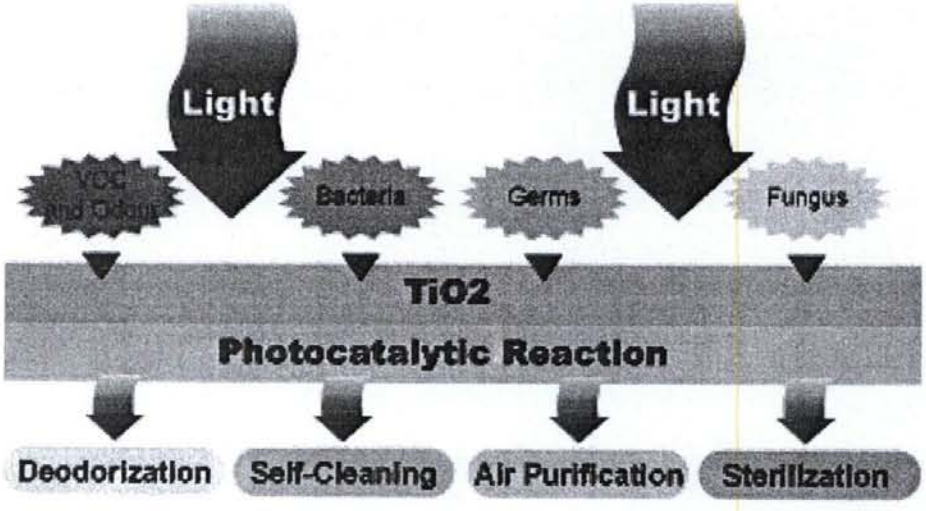


รูปที่ 1.1 ลักษณะของหยดน้ำบนกระจกบริเวณที่เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์และบริเวณที่ไม่เคลือบ

ปรากฏการณ์โฟโตคะตะลิซิสของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์มีลักษณะคล้าย ๆ กระบวนการสังเคราะห์แสงของใบไม้ด้วยคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) โดยอาศัยแสงและมีน้ำเป็นส่วนประกอบซึ่งจะได้ออกซิเจนออกมาเหมือนกัน ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การเปรียบเทียบกระบวนการโฟโตคะตะลิซิสของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์กับการสังเคราะห์แสงของ Chlorophyll



รูปที่ 1.3 การนำหลักการโฟโตคะตะลิซิสไปประยุกต์

ตารางที่ 1.1 การนำหลักการโฟโตคะตะลิซิสไปประยุกต์ใช้ [1]

สมบัติ	ประเภท	การประยุกต์
ทำความสะอาดตัวเอง (Self Cleaning)	วัสดุที่อยู่อาศัย ออฟฟิศ สำนักงาน	กระเบื้องภายนอก ส่วนประกอบของห้องน้ำ และครัว อุปกรณ์ตกแต่งภายใน ผิวของพลาสติก รางอลูมิเนียม ม่านและสิ่งก่อสร้างที่เป็นหิน หน้าต่างและม่านบังตา
	องค์ประกอบภายในและภายนอกโคมไฟ	กระดาษโปร่งใสสำหรับภายในโคมไฟ เคลือบหลอดฟลูออเรสเซนต์ และเคลือบหลอดไฟในอุโมงค์ทางด่วน
	ถนน	อุโมงค์ทางเดิน ผนังกันเสียง ไฟจราจร และวัตถุที่รับแสงสะท้อน (กระจก)
	อื่นๆ	วัสดุกระโจม เสื้อผ้าและผ้าในโรงพยาบาล และสเปรย์เคลือบรถยนต์
เครื่องปรับอากาศ (Air Cleaning)	ใช้ทำความสะอาดอากาศภายในห้อง	ห้องแอร์ในเครื่องปรับอากาศ ภายในโรงงาน
	อากาศที่ใช้ทำความสะอาดภายนอก	ถนนคอนกรีตสำหรับทางด่วน ถนนและทางเท้าตามอุโมงค์
กระบวนการบำบัดน้ำให้สะอาด (Water Purification)	น้ำดื่ม	แม่น้ำ น้ำใต้ดิน ทะเลสาบ และอ่างเก็บน้ำ
	อื่นๆ	ตู้เลี้ยงปลา การระบายน้ำ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม
Anitumor Activity	การบำบัดโรคมะเร็ง	เครื่องมือเป็นท่อยาวสำหรับตรวจส่องโพรงภายในร่างกาย
ฆ่าเชื้อด้วยตนเอง (Self-Sterilizing)	โรงพยาบาล	กระเบื้องที่พื้นและผนังของห้องผ่าตัดท่อยางกลวงสำหรับสอดเข้าไปในร่างกายเพื่อระบายของเหลวออกมา
	อื่นๆ	

ในการเคลือบชั้นไททาเนียมไดออกไซด์นี้จำเป็นที่จะต้องศึกษา วิจัยเพื่อให้ได้โครงสร้างของฟิล์มเหมาะสมสำหรับการทำให้มีสมบัติ Self-cleaning สำหรับเทคนิคในการเคลือบฟิล์มชั้นโลหะออกไซด์บนแผ่นกระจกนั้นมีอยู่หลายวิธี เช่น เทคนิคสปัตเตอริง (Sputtering) เทคนิคการระเหยสารทางเคมี (Chemical Vapor Deposition, CVD) เทคนิค Spin coating เทคนิค Dip coat เป็นต้น แต่เทคนิคที่เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการเคลือบกระจกหลัก ๆ นั้นมี 2 เทคนิค คือ สปัตเตอริง และ CVD หรือ Pyrolytic coating ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เป็นฟิล์มที่สามารถเตรียมได้หลายวิธี ซึ่งการเตรียมฟิล์มโดยวิธีสปัตเตอริง เป็นเทคนิคการเคลือบฟิล์มที่ให้การยึดเกาะของเนื้อฟิล์มกับแผ่นรองรับที่ดีและเนื้อ

ฟิล์มมีความบริสุทธิ์สูง โดยสมบัติของฟิล์มที่เหมาะสมในการนำไปใช้ทำเป็นกระจกสะอาดด้วยตัวเอง ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการเคลือบของฟิล์ม

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจก โดยใช้เทคนิค D.C. Reactive Magnetron Sputtering แล้วทำให้กระจกมีสมบัติเป็นกระจกสะอาดด้วยตัวเอง โดยจะมุ่งเน้นไปที่ตัวแปรการเคลือบที่สำคัญคือ กำลังไฟฟ้าดิสชาร์จ (Discharge Power) ความดันย่อยของรีแอคทีฟก๊าซ (Reactive gas) และ ความหนาของฟิล์ม โดยศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่สมบัติทางโครงสร้าง ทางแสง และทางโฟโตคะตะลิซิสเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจกโดยเทคนิคการเคลือบแบบ D.C. Reactive Magnetron Sputtering

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ ต่อสมบัติทางแสง สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติความเป็นโฟโตคะตะลิซิส เน้นสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิก

1.2.3 เพื่อสร้างบุคคลกร และนักวิจัย ที่เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีเคลือบฟิล์มบางเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรม แก้ว และกระจก เพื่อการพึ่งพาตัวเองในระยะยาว

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 เตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจกโดยเทคนิคการเคลือบแบบ D.C. Reactive Magnetron Sputtering โดยกำหนดตัวแปรของเงื่อนไขการเคลือบ คือ

- กำลังไฟฟ้าดิจชาร์จ
- อัตราการป้อนก๊าซออกซิเจน (O_2)
- ความหนาของฟิล์ม

1.3.2 นำฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมลงบนกระจกโดยเทคนิคการเคลือบแบบ D.C. Reactive Magnetron Sputtering โดยมีการวิเคราะห์สมบัติดังนี้

- สมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิก
- ความหนาของฟิล์ม
- โครงสร้างผลึก
- สมบัติทางแสง

1.3.3 สรุปผลหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ลงบนกระจกโดยเทคนิคการเคลือบแบบ D.C. Reactive Magnetron Sputtering เพื่อเป็นกระจกที่สะอาดด้วยตัวเอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.4.1 สามารถหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อสมบัติทางแสง สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติความเป็นโฟโตคะตะลิซิส เน้นสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิก เพื่อใช้เป็นกระจกสะอาดด้วยตัวเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.2 เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ

1.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้เป็นฟิล์มเคลือบบนกระจกสะอาดด้วยตัวเอง ต้องประกอบด้วยสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ฟิล์มต้องมีสมบัติความเป็นโฟโตคะตะลิซิสและมีสมบัติความเป็นไฮโดรฟิลิก [1-2] โดยที่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ ที่มีเฟสอนาเทส (Anatase phase) จะมีสมบัติความโฟโตคะตะลิซิสและไฮโดรฟิลิก [3-5] ที่ดี

การเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์โดยเทคนิคการเคลือบแบบ Magnetron sputtering มีการศึกษาการเคลือบฟิล์ม 2 เทคนิค คือ เคลือบแบบ Reactive RF magnetron sputtering และ DC pulse Reactive magnetron sputtering พิจารณาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของฟิล์มต่อสมบัติความเป็นกระจกสะอาดด้วยตัวเอง

1.1 กำลังไฟฟ้าดิสชาร์จ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบควรมีค่าอยู่ในช่วง 200-800 W [6-9]

1.2 ความดันรวม (P_t) จากการศึกษาที่ผ่านมาความรวมอยู่ในช่วง 0.13-2.7 Pa [3-5]

1.3 ความดันย่อยของของรีแอกทีฟก๊าซ (PO_2)/ ความดันรวม (P_t) ควรมีค่าอยู่ในช่วง 20-85% [3-5]

1.4 ความกว้างพัลส์ และความถี่พัลส์ จากการศึกษาที่ผ่านมาในการเคลือบโดยเทคนิค DC pulse Reactive magnetron sputtering พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงความถี่ 20-250 kHz [6-9]

1.5 ความหนาของฟิล์ม จะมีความสำคัญต่อโครงสร้างผลึก และสมบัติความโฟโตคะตะลิซิสและไฮโดรฟิลิก ซึ่งยังต้องมีการศึกษาต่อไป จากรายงานที่ผ่านมามีการศึกษาที่ความหนาต่างๆ เพื่อกำหนดความหนาให้เหมาะกับการใช้เครื่องมือ ในการศึกษาฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์อย่างไรก็ตามจากรายงานที่ผ่านมาพบว่าความหนาที่ศึกษากันจะอยู่ในช่วงประมาณ 65-950 nm [3]

จากรายงานของ Hou และคณะ [10] ได้ศึกษาอิทธิของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์มไททาเนียม-ไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีสปัตเตอริงเคลือบบนซิลิกอนเวเฟอร์ที่อุณหภูมิห้อง อบฟิล์มที่อุณหภูมิตั้งแต่ 300-1100°C หลังอบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 300°C เริ่มปรากฏเฟสอนาเทส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 700°C เกิดเฟสอนาเทสอย่างสมบูรณ์ ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์แปลี่ยนเฟสเป็นรูไทล์

อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 900°C ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบฟิล์มลดลง โดยที่ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์อบที่อุณหภูมิ 500°C มีสมบัติทางแสงดีที่สุด

Qourzal และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ผงไททาเนียมไดออกไซด์โดยใช้ไททาเนียมเตตระไอโซโพรพอกไซด์ (Titanium tetraisopropoxide: TTiP) แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 - 600 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบสมบัติของผงไททาเนียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์โดยใช้ Thermogravimetric analysis (TGA) และ X-ray diffraction (XRD) พบว่าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เริ่มพบผลึกรูปอนาเทส และที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบทั้งผลึกรูปอนาเทส และรูไทล์เมื่อมีการเติมสารคาร์บอน (activated carbon: AC) ผสมกับไททาเนียมไดออกไซด์แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เพิ่มความสามารถในการกำจัด 2-แนปธอล ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเลตในกระบวนการโฟโตคะตะลิซิส ให้มีประสิทธิภาพดีกว่าผงไททาเนียมเพียงอย่างเดียว และยังสามารถบำบัดน้ำเสียด้วยการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ ในระยะเวลาที่สั้นกว่าการเตรียมด้วยไททาเนียม-ไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว

Igor และคณะ [12] ได้ศึกษาโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์ผงไททาเนียมไดออกไซด์และเตรียมฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์บนแผ่น quartz ด้วยวิธีโซล-เจล โดยใช้ ไททาเนียม(IV) ไอโซโพรพา-นอลเป็นสารตั้งต้น และใช้ 2-โพรพานอลเป็นตัวทำละลาย เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งวิเคราะห์ด้วย XRD, UV-Vis Spectroscopy, AFM และ SEM พบว่าการเปลี่ยนแปลงเฟสของผงไททาเนียมไดออกไซด์สังเกตได้ชัดเจนกว่าฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ คือที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสปรากฏผลึกอนาเทส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 800 องศาเซลเซียสได้เปลี่ยนเฟสกลายเป็นรูไทล์อย่างสมบูรณ์

ขนาดผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมเป็นฟิล์มมีขนาดเล็กกว่าที่เตรียมเป็นผง ในขณะเดียวกันยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุดในกระบวนการโฟโตคะตะลิซิส เนื่องจากมีอนุภาคที่เล็กกว่าผงไททาเนียมไดออกไซด์