

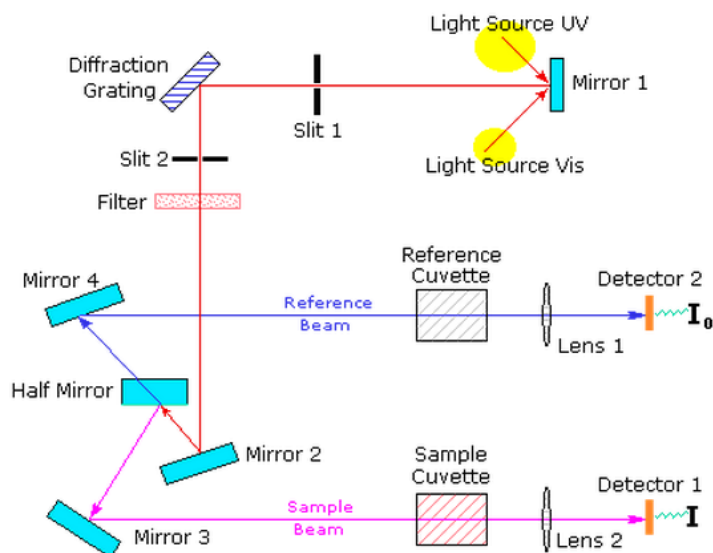
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

การวัดการดูดกลืนและการคายแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลจะสามารถทำได้โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งเครื่องมือนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- แหล่งกำเนิดแสง
- อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่น
- แท่นวาง (จับยึด) สารตัวอย่าง
- อุปกรณ์ตรวจวัดแสง
- ส่วนประมวลผลสัญญาณ

การวัดสเปกตรัมการดูดกลืนหรือการคายแสง กระทำได้โดยฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีพลังงานเหมาะสมผ่านไปยังโมโนโครเมเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าควบคุมแสงให้ผ่านออกมาและมีค่าความยาวคลื่นเฉพาะตามต้องการ แสงที่ออกมาจากโมโนโครเมเตอร์จะถูกส่งผ่านไปยังแท่นวางสารตัวอย่าง แสงที่ไม่ได้ถูกดูดกลืนหรือถูกปลดปล่อยออกมาจากสารตัวอย่างจะถูกส่งผ่านออกมายังอุปกรณ์ตรวจวัดแสง สัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจวัดแสงจะถูกส่งผ่านมายังส่วนประมวลผลสัญญาณและแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์แสดงผลชนิดอื่น



รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำงานของเครื่องมือ

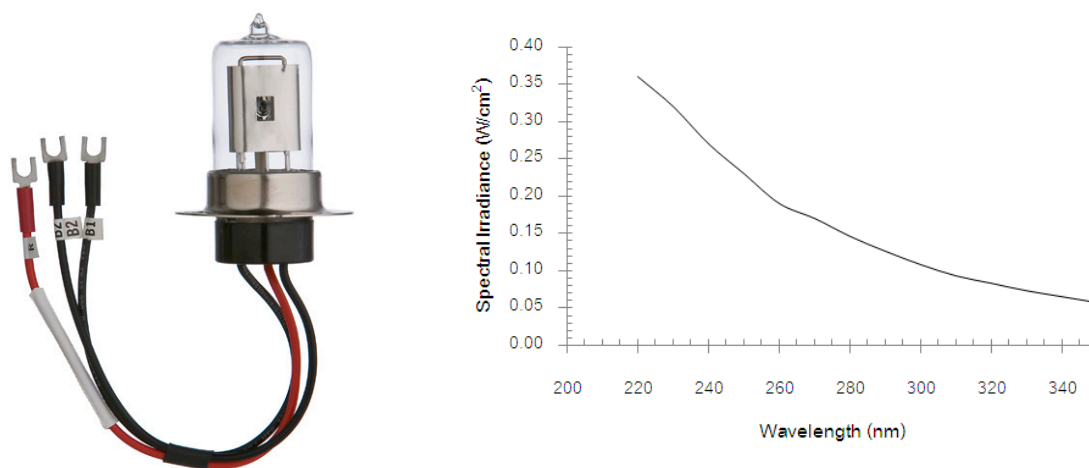
2.1.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงคือส่วนประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ให้กระตุ้นหรือให้พลังงานกับสารตัวอย่างที่ศึกษา สมบัติของแหล่งกำเนิดแสงที่ดีคือต้องมีค่าความยาวคลื่นในย่านที่เหมาะสมต่อการดูดกลืนพลังงานของสารที่ศึกษาและมี

ความเข้มแสงคงที่ตลอดช่วงเวลาที่วัดค่า แหล่งกำเนิดแสงมีอยู่มากมายหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีหลักการการทำงานและให้แสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันออกไป ดังนี้

หลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวเทอเรียม

หลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวเทอเรียม เป็นแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ให้สเปกตรัมรังสีที่ต่อเนื่องและความยาวคลื่นในย่าน 160-380 นาโนเมตร โครงสร้างของหลอดโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทดและหน้าต่างที่ทำจากแก้วควอตซ์¹ ดังรูปที่ 2.2 ภายในหลอดจะบรรจุก๊าซไฮโดรเจน (หลอดไฮโดรเจน) หรือบรรจุก๊าซดิวเทอเรียม (หลอดดิวเทอเรียม) ที่มีความดันต่ำ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าศักย์สูงให้กับหลอดจะทำให้อะตอมของก๊าซถูกไอออไนซ์ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะวิ่งไปชนกับอะตอมของก๊าซภายในหลอดและทำให้อิเล็กตรอนในสถานะพื้นถูกกระตุ้นให้อยู่ในสถานะกระตุ้น และเมื่ออิเล็กตรอนตกกลับลงมาสู่สถานะพื้นจะคายพลังงานในรูปของแสง ซึ่งแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะมีสเปกตรัมขึ้นกับชนิดของก๊าซที่ถูกบรรจุภายในหลอด

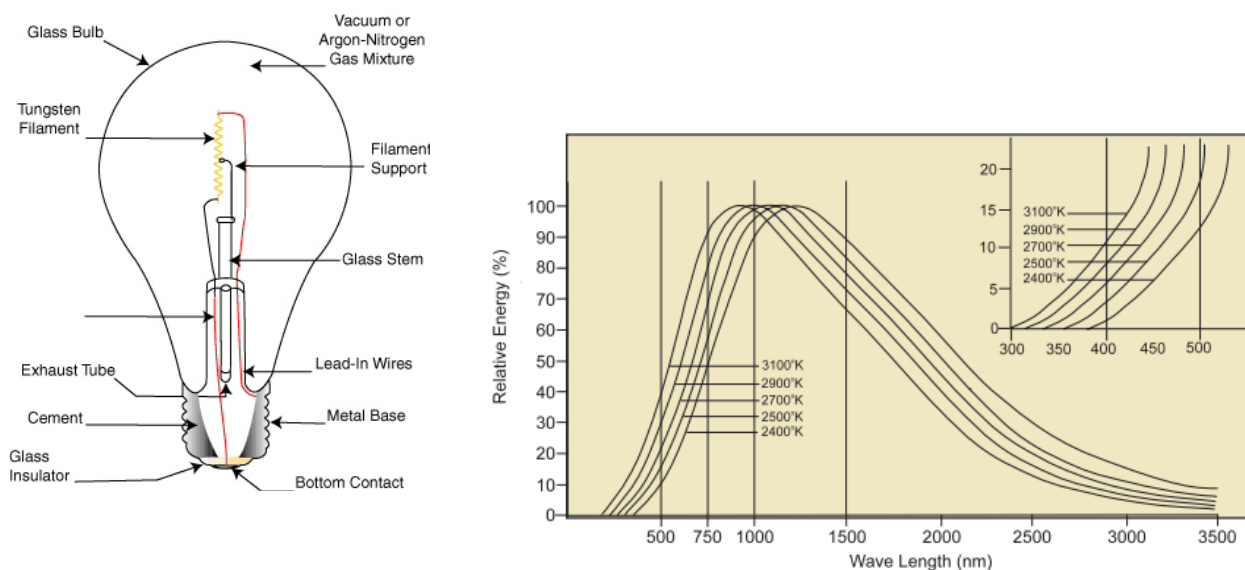


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวเทอเรียมโดยทั่วไป

หลอดทังสเตน

หลอดทังสเตนเป็นหลอดที่กำเนิดแสงในย่านวิสิเบิลถึงย่านอินฟราเรด โครงสร้างของหลอดโดยทั่วไปจะประกอบด้วยไส้หลอดที่ทำจากวัสดุทังสเตน (tungsten filament) และครอบแก้ว (glass bulb) ดังรูปที่ 2.3

¹ ควอตซ์คือแก้วชนิดหนึ่งที่ไม่ดูดกลืนแสงยูวีหรือแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 350 นาโนเมตร



รูปที่ 2.3 หลอดทังสเตน

เมื่อจ่ายกระแสผ่านไส้หลอดที่ทำจากหลอดทังสเตน ไส้หลอดจะร้อนและเปล่งแสงออกมาอย่างต่อเนื่องในช่วงความยาวคลื่น 320 ถึง 2500 นาโนเมตร โดยทั่วไปแล้วหลอดทังสเตนจะมีอายุการใช้งานต่ำ จึงได้ถูกพัฒนาให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นโดยการเติมก๊าซเฉื่อยบางชนิดเข้าไปเพื่อลดการระเหิดของไส้หลอด ตัวอย่างของก๊าซเฉื่อยที่นิยมใช้เช่น อาร์กอน ไนโตรเจน หรือในบางครั้งจะมีการเติมก๊าซฮาโลเจน เช่น ก๊าซไอโอดีน หรือโบรมีน เพื่อช่วยลดการเกาะตัวที่บริเวณครอบแก้วของทังสเตนที่ระเหิดออกมา หลอดที่มีการเติมก๊าซฮาโลเจนเข้าไปจะถูกเรียกว่า “หลอดทังสเตน-ฮาโลเจน”

ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ถูกใช้เพื่อการกระตุ้นสารตัวอย่างเพื่อวัดสเปกตรัมการเรืองแสง (fluorescence spectrum) แหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้นิยมใช้เนื่องจากมีเสถียรภาพและมีการแผ่ความร้อนออกมาน้อยเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงอื่น

โครงสร้างโดยทั่วไปของไดโอดเปล่งแสงประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด (สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และสารกึ่งตัวนำชนิดพี) ประกบเข้าด้วยกัน มีผิวข้างหนึ่งเรียบคล้ายกระจก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัวไดโอดเปล่งแสง โดยจ่ายไฟบวกให้ขาแอนโนด (A) จ่ายไฟลบให้ขาแคโทด (K) ทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นมีพลังงานสูงขึ้น จนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อจากสารชนิดเอ็นไปรวมกับโฮลในสารชนิดพี การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อพีเอ็นทำให้เกิดกระแสไหล เป็นผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง สีของแสงที่เกิดจากรอยต่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างไดโอด เปล่งแสงทั้งชนิดที่เป็นของเหลวและก๊าซ เช่น ใช้แกลเลียมฟอสไฟด์ (GALLIUM PHOSPHIDE, GaP) ทำให้เกิดแสงสีแดง ใช้แกลเลียมอาร์ซีไนด์ ฟอสไฟด์ (GALLIUM ARSENIDE PHOSPHIDE, GaAsP) เกิดแสงสีเหลืองและเขียว การควบคุมปริมาณแสงสว่างจะควบคุมกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง หากกระแสที่ไหลสูงมากไปจะทำให้หลอดมีความสว่างมาก แต่หากป้อนกระแสสูงเกินไปจะทำให้บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเกิดความร้อนในปริมาณมากจนทำให้โครงสร้างหลอดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้

ไดโอดเปล่งแสงที่วางขายตามท้องตลาดในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ หากแบ่งไดโอดเปล่งแสงตามลักษณะของบรรจุภัณฑ์ (Packet) จะสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือ

1. แบบ Lamp Type เป็นไดโอดเปล่งแสงชนิดที่พบกันอยู่ทั่วไปมีขายื่นออกมาจากตัว Epoxy 2 ขา หรือมากกว่า โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป บริษัทผู้ผลิตจะออกแบบให้ขั้วกระแสได้ไม่เกิน 150 มิลลิแอมป์



รูปที่ 2.4 ไดโอดเปล่งแสงแบบ Lamp Type

2. แบบ Surface Mount Type (SMT) มีลักษณะ packet เป็นตัวบางๆ เวลาประกอบต้องใช้เครื่องมือชนิดพิเศษมีขนาดการขั้วกระแสตั้งแต่ 20 มิลลิแอมป์ถึงมากกว่า 1 แอมป์ สำหรับแอลอีดีแบบ SMT ถ้าขั้วกระแสได้ตั้งแต่ 300 มิลลิแอมป์ขึ้นไป จะเรียกว่า high power LED



รูปที่ 2.5 ไดโอดเปล่งแสงแบบ Surface Mount Type (SMT)

ข้อดีของไดโอดเปล่งแสง

- มีประสิทธิภาพการให้แสงสว่างสูง และทิศทางแสงสว่างของไดโอดเปล่งแสงจะส่องไปเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น ลดการสูญเสียของแสงสว่าง
- ใช้พลังงานน้อย
- ทนต่อการสั่นสะเทือนและแรงกระแทก
- สามารถเปิดปิดได้บ่อยครั้ง และเมื่อเปิดจะให้แสงสว่างโดยทันที
- อายุการใช้งานยาวนานถึง 100,000 ชั่วโมง

- สามารถควบคุมคุณภาพของแสงที่ปล่อยออกมาได้จึงสามารถนำไปใช้ให้แสงสว่างในบางสถานที่ได้ เช่น การให้แสงสว่างกับภาพเขียนเนื่องจากสามารถควบคุมแสงสว่างจาก ไดโอดเปล่งแสง ไม่มีส่วนผสมของแสงที่เป็นอันตรายต่อภาพเขียน เช่น แสงอินฟราเรดและแสงอัลตราไวโอเล็ต
- ปล่อยความร้อนออกมาน้อยมาก ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนเครื่องปรับอากาศ
- การดูแลรักษาต่ำ
- น้ำหนักเบา , ขนาดเล็ก

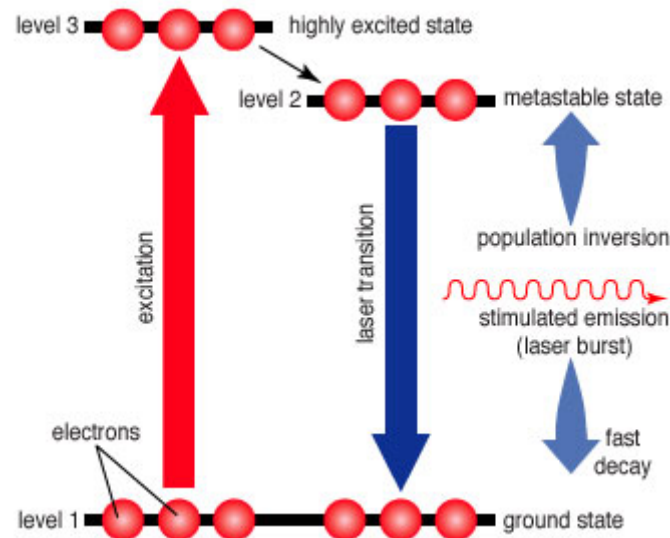
ข้อจำกัดของไดโอดเปล่งแสง

- ในการนำไดโอดเปล่งแสงมาใช้งานต้องมีการทดสอบสีว่า แสงที่ออกมาเป็นแสงสีที่ถูกต้องหรือไม่
- ราคาไดโอดเปล่งแสงยังแพงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์อยู่มาก

เลเซอร์

เลเซอร์ (LASER) คือแหล่งกำเนิดแสงอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการกระตุ้นสารตัวอย่างและวัดการปล่อยพลังงานออกด้วยกลไกลูมิเนสเซนซ์ แหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้จะให้แสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะค่าและมีความเข้มแสงสูงมาก หลักการทำงานของเลเซอร์สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ ดังรูปที่ 2.6 เมื่ออิเล็กตรอนในสถานะพื้น (level 1) ถูกกระตุ้นโดยพลังงานภายนอก เช่น แสง ไฟฟ้า จะทำให้มีพลังงานที่สูงขึ้นและย้ายระดับไปยังสถานะกระตุ้น (level 3) อิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะนี้เพียงชั่วขณะและตกกลับมายังสถานะกระตุ้นกึ่งเสถียร (level 2) ปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง (ยังไม่ใช่แสงเลเซอร์) อิเล็กตรอนจะอยู่ในสถานะนี้ได้ไม่นานพอประมาณและถ้ามีโฟตอนจากภายนอกที่มีพลังงานเท่ากับความแตกต่างของระดับพลังงาน (level 2) – (level 1) เข้ามาชน จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นพลังงาน (level 2) นี้ ถูกกระตุ้นให้ลงมายังชั้นพลังงาน (level 1) โดยมีการคายพลังงานออกมาในรูปของแสง (แสงเลเซอร์) ที่มีพลังงานเท่ากับ (level 2) – (level 1) เนื่องจากโฟตอนแสงที่เข้ามาชนไม่ถูกดูดกลืนโดยอะตอมที่ถูกชน ทำให้จำนวนโฟตอนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (โฟตอนที่มากระตุ้นบวกกับโฟตอนที่ได้จากการเปลี่ยนสถานะของอะตอม)

โฟตอนทั้งสองนี้มีพลังงานเท่ากัน มีความถี่เดียวกัน มีเฟสตรงกัน มีโพลาไรเซชันเหมือนกัน และเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งถ้าพิจารณาในมุมมองของคลื่นแล้ว จะพบว่าเมื่อแสงสองขบวนมีความถี่ตรงกัน มีเฟสตรงกัน เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน สามารถที่จะรวมกันในลักษณะที่เสริมกันได้ ทำให้ได้คลื่นรวมที่มีขนาดโตขึ้น เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การขยายสัญญาณแสง (light amplification) ขึ้น ถ้าสามารถทำให้เกิดการขยายสัญญาณแสงในลักษณะนี้กับอะตอมเป็นจำนวนมาก ๆ ได้ ก็จะทำให้ได้สัญญาณแสงที่มีความเข้มสูงออกมา



รูปที่ 2.6 แบบจำลองพลังงานที่มี 3 สถานะ

2.1.2 อุปกรณ์เลือกความยาวคลื่น (Wavelength selector)

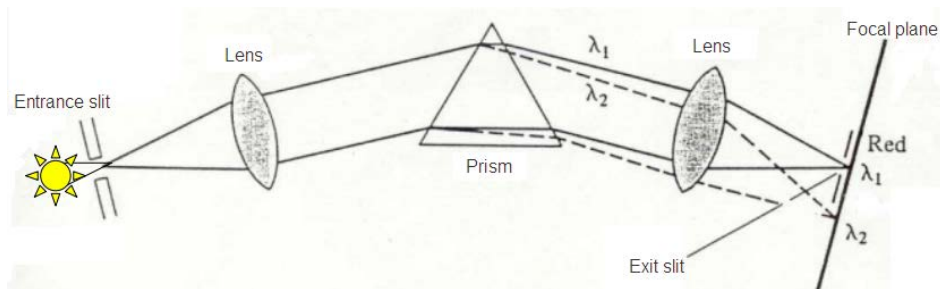
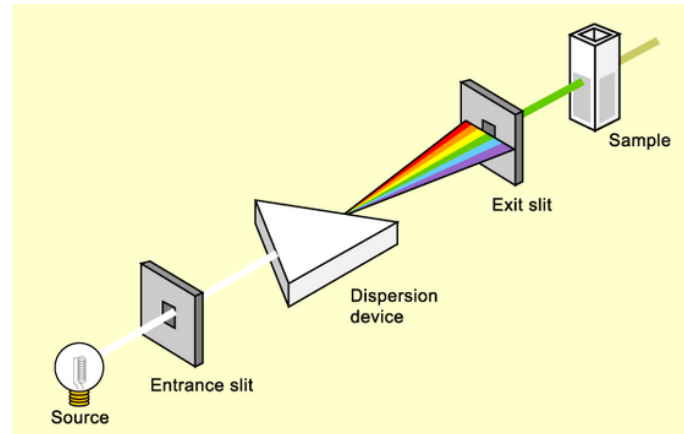
2.1.2.1 โมโนโครเมเตอร์

โมโนโครเมเตอร์คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เลือกให้แสงจากแหล่งกำเนิดผ่านออกมาด้วยความยาวคลื่นเฉพาะค่าสามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิดคือ ปริซึมโมโนโครเมเตอร์ (prism monochromator) รูปที่ 2.7 และเกรตติงโมโนโครเมเตอร์ (grating monochromator) รูปที่ 2.8

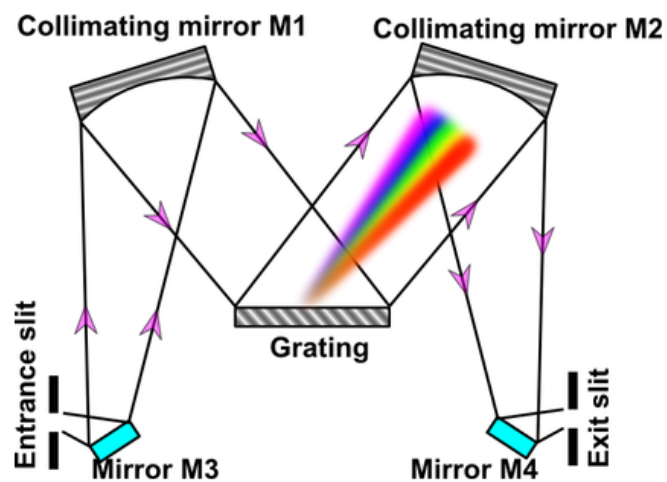
ส่วนประกอบภายในเครื่องที่สำคัญของอุปกรณ์นี้คือ

1. ช่องให้แสงเข้า (entrance slit) เป็นช่องเปิดขนาดเล็กที่ควบคุมความเข้มแสงที่ผ่านเข้ามา
2. เลนส์นูนหรือกระจกเว้า ซึ่งทำหน้าที่ปรับลำแสงให้เป็นแสงขนาน
3. ปริซึมหรือเกรตติง ซึ่งทำหน้าที่ให้แสงเกิดการหักเหหรือเลี้ยวเบนและกระจายแสงออกมาเป็นแถบสเปกตรัม
4. เลนส์รวมแสง ทำหน้าที่รวมแสงให้เป็นจุดในแนวระนาบ (focal plane)
5. ช่องให้แสงออก (exit slit) เป็นช่องเปิดที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านออกมา

ปริซึมโมโนโครเมเตอร์ใช้ปริซึมแยกแสงโดยอาศัยพฤติกรรมหักเหของแสง ซึ่งปริซึมที่ถูกนำมาใช้อาจทำจากวัสดุควอตซ์หรือแก้ว ขึ้นกับย่านความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน ในกรณีของเกรตติงโมโนโครเมเตอร์จะแยกลำแสงที่ผ่านเข้ามาโดยอาศัยพฤติกรรมเลี้ยวเบนของแสงผ่านช่องขนาดเล็ก โดยแผ่นเกรตติงที่ถูกนำมาใช้จะมีช่องเล็กๆจำนวนมากประมาณ 15,000 ถึง 30,000 ช่องต่อนิ้วบนผิววัสดุ เช่น อะลูมิเนียม การเลือกให้แสงผ่านออกมายังช่องให้แสงออกของโมโนโครเมเตอร์กระทำโดยการหมุนปริซึมหรือเกรตติง ทำให้แสงความยาวคลื่นหนึ่งๆถูกโฟกัสไปที่ช่องให้แสงออก ความกว้างของแถบสเปกตรัมจะขึ้นกับความสามารถในการกระจายแสงของปริซึมหรือเกรตติงและความกว้างของช่องให้แสงออก และกำลังในการกระจายแสงของปริซึมนั้นจะขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการสร้างปริซึมและความยาวคลื่น ขณะที่กำลังในการกระจายแสงของเกรตติงจะขึ้นกับจำนวนช่องต่อนิ้ว (จำนวนช่องมากยิ่งกระจายแสงได้ดี)



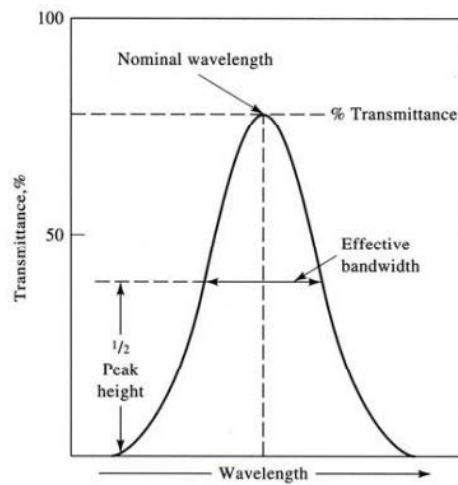
รูปที่ 2.7 ปริซึมโมนโครเมเตอร์



รูปที่ 2.8 เกรตติ้งโมนโครเมเตอร์

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างแถบสเปกตรัมที่ได้จากโมนโครเมเตอร์ สเปกตรัมของแสงจะมีความเข้มแสงกระจายตัวคล้ายรูปประฆังคว่ำและมีความเข้มสูงสุดที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่ง ความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่งของความเข้มสูงสุดในหน่วยความยาวคลื่นคือ แถบความกว้างยังผล (effective bandwidth) หรือ แถบความกว้างทางสเปกตรัม (spectral bandwidth) หรือที่เรียกสั้นๆว่า แถบความกว้าง (bandwidth) แถบความกว้างสามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 1 นาโนเมตรไปถึงหลายนาโนเมตร โมนโครเมเตอร์ที่ดีต้องสามารถให้แสงที่มีแถบความกว้าง

แคบๆ ในปัจจุบันโมนโครเมเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นเกรดตั้งโมนโครเมเตอร์เพราะมีราคาถูกกว่าในการสร้างและสามารถแยกความยาวคลื่นได้ดีกว่าและกระจายแสงในเชิงเส้นตรงมากกว่าปริซึมโมนโครเมเตอร์



รูปที่ 2.9 สเปกตรัมแสงจากโมนโครเมเตอร์

2.1.2.2 ปริซึม

เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านปริซึม แสงจะเกิดการหักเหเนื่องจากดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางต่างชนิดกันจะแตกต่างกัน แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจะหักเหได้มากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาว ดังรูปที่ ซึ่ง $\lambda_1 > \lambda_2$ เมื่อหมุนปริซึมจะทำให้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆในสเปกตรัมผ่านไปที่ช่องให้แสงออกและผ่านไปยังตัวอย่างที่ต้องการทดสอบต่อไป ปริซึมสามารถแยกแสงได้ดีในย่านอัลตราไวโอเล็ตและย่านวิสิเบิล รวมถึงย่านอินฟราเรดด้วย แต่เนื่องจากการหักเหของแสงจะไม่เป็นเชิงเส้นจึงใช้ได้ในช่วงความยาวคลื่นสั้นๆเท่านั้น วัสดุที่ใช้ทำปริซึม เช่น แก้ว (ใช้งานย่านวิสิเบิล) และควอตซ์หรือฟิวส์ซิลิกา (ใช้งานย่านอัลตราไวโอเล็ต)

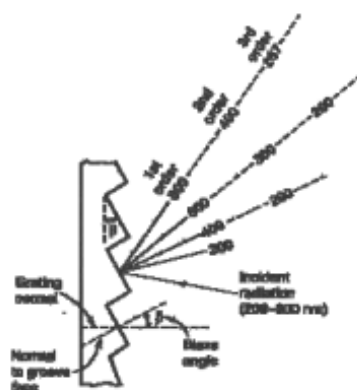
2.1.2.3 เกรตติง

เกรตติงคืออุปกรณ์แสงที่ประกอบด้วยร่องขนานกันขนาดเล็กจำนวนมาก ร่องเหล่านี้ถูกเซาะอย่างเป็นระเบียบบนวัสดุที่มีผิวเรียบ เช่น อะลูมิเนียมหรือแก้ว และมีจำนวนเส้นประมาณ 15,000-30,000 เส้นต่อนิ้ว สำหรับการวิเคราะห์ที่ในย่านอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลและ 1,500-2,500 เว้นต่อนิ้ว สำหรับการวิเคราะห์ย่านอินฟราเรด ซึ่งร่องเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ทำหน้าที่ให้แสงกระจายได้แบบเส้นตรง และความสามารถในการแยกแสงของเกรตติงจะขึ้นกับจำนวนร่องนั่นเอง

การแยกแสงของเกรตติงสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2.10 เมื่อแสงตกกระทบที่ผิวของเกรตติงด้วยมุม i จะสะท้อนออกไปด้วยมุม θ ถ้าให้ระยะระหว่างเส้นเท่ากับ d ระยะระหว่างแสง 2 ลำที่ตกกระทบที่มุม i คือ $d \sin i$ และระยะแสงที่สะท้อนออกเท่ากับ $d \sin \theta$ ความแตกต่างของระยะทางระหว่างแสงตกกระทบและหักเหจะมีค่าเท่ากับ $d \sin(i) - d \sin \theta$

$$n\lambda = d(\sin i - \sin \theta)$$

เมื่อ n คืออันดับของการเลี้ยวเบน เมื่อ n เพิ่มมากขึ้นความยาวคลื่นจะสั้นลง

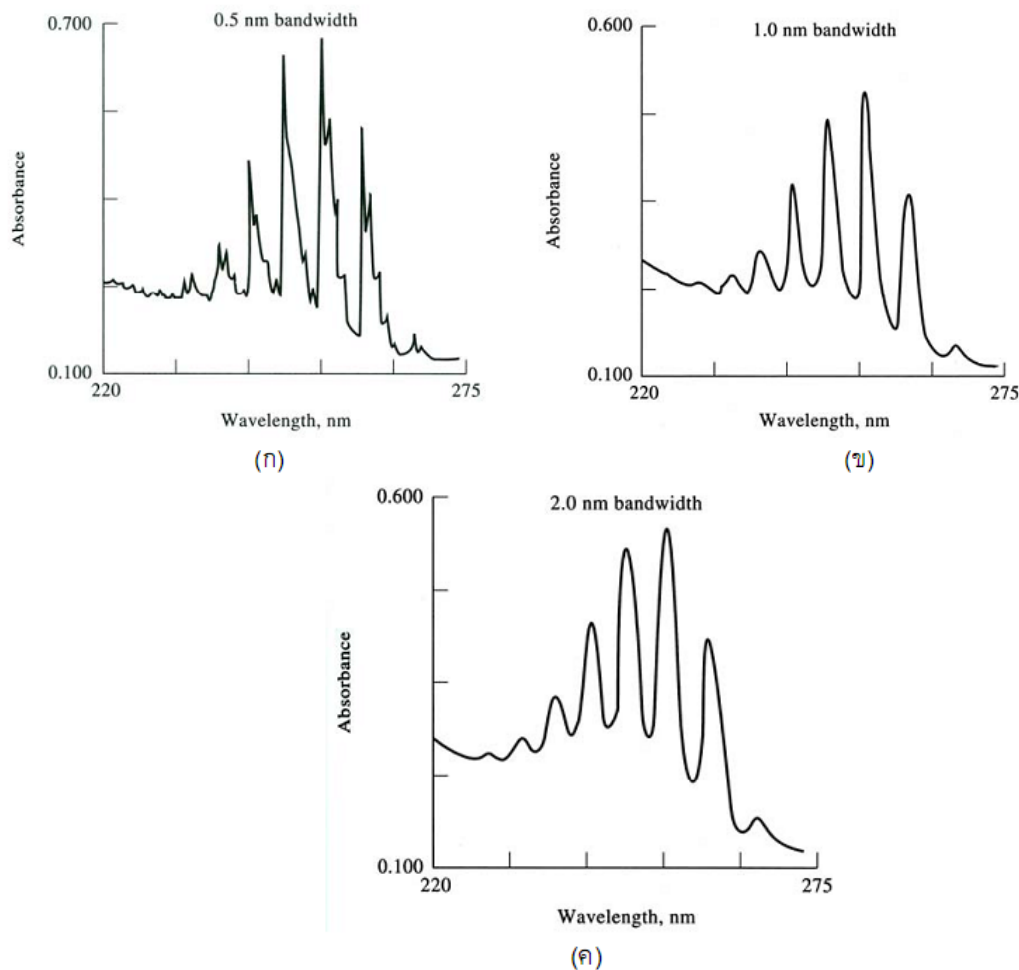


รูปที่ 2.10 การกระจายแสงที่เกิดที่ผิวของเกรตติง

2.1.2.4 ช่องให้แสงเข้าและช่องให้แสงออก

ประสิทธิภาพของการเลือกแสงของโมนอโครเมเตอร์นอกจากจะขึ้นกับการกระจายแสงของปริซึมและเกรตติงแล้ว ยังขึ้นกับความกว้างของช่องแสงเข้าและช่องแสงออกด้วย โมนอโครเมเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้ช่องแสงเข้าและออกที่สามารถปรับความกว้างได้ การใช้ช่องแสงที่แคบจะทำให้ประสิทธิภาพการแยกแสงที่ดี แต่ขณะเดียวกัน

ก็ทำให้ความเข้มแสงลดลงด้วย ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณสารนิยมใช้ช่องแสงที่กว้างในการวิเคราะห์ รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างผลความกว้างของช่องแสงต่อสเปกตรัมของไอเบนซีน จากรูปจะเห็นว่าการใช้ช่องแสงที่แคบจะเห็นรายละเอียดที่ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 2.11 ผลความกว้างของช่องแสงต่อสเปกตรัมของไอเบนซีน

2.1.2.5 ฟิลเตอร์

ฟิลเตอร์คืออุปกรณ์ทางแสงอีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เลือกให้แสงผ่านออกมาและมีค่าความยาวคลื่นเฉพาะย่านทำงานโดยการดูดกลืนแสงบางส่วนออกจากแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของฟิลเตอร์ จำเป็นต้องเข้าใจการสะท้อนสีของแสงก่อน เช่น เมื่อเราเห็นวัตถุสีแดงนั้นคือผิวหน้าของวัตถุจะดูดกลืนแสงอีก 2 สี คือ สีเขียว และสีน้ำเงินแต่จะมีสีแดงเท่านั้นที่จะสะท้อนออกมาสู่สายตาของคนเรา ถ้าหากวัตถุที่มีสีดำนั้น หมายความว่าผิวหน้าของวัตถุนั้นได้ดูดกลืนแสงสีทั้งหมดเอาไว้ดังนั้นถ้าปราศจากสีสะท้อนเมื่อใดวัตถุนั้น ๆ จะเป็นสีดำทันที วัตถุสีขาวจะดูดกลืนแสงสีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากแต่จะสะท้อนสีสู่สายตาของเราทั้งสามสีอันมี สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งทำให้เกิดเป็นสีขาวขึ้นมา

ฟิลเตอร์มีคุณลักษณะพิเศษคือ ยอมให้สีของแสงผ่านเฉพาะสีเดียวกันกับสีของฟิลเตอร์เท่านั้น ขณะเดียวกันจะดูดกลืนสีอื่นๆ ที่เหลือ ตัวอย่างเช่น ฟิลเตอร์สีแดงจะยอมให้สีแดงผ่านไปตกที่ฟิล์ม แต่จะดูดกลืนสีฟ้า (สีน้ำเงิน + สีเขียว) ฟิลเตอร์สีเขียวจะยอมให้แสงสีเขียวผ่านและดูดกลืนสีม่วง (สีแดง + สีน้ำเงิน) และฟิลเตอร์สีน้ำเงิน

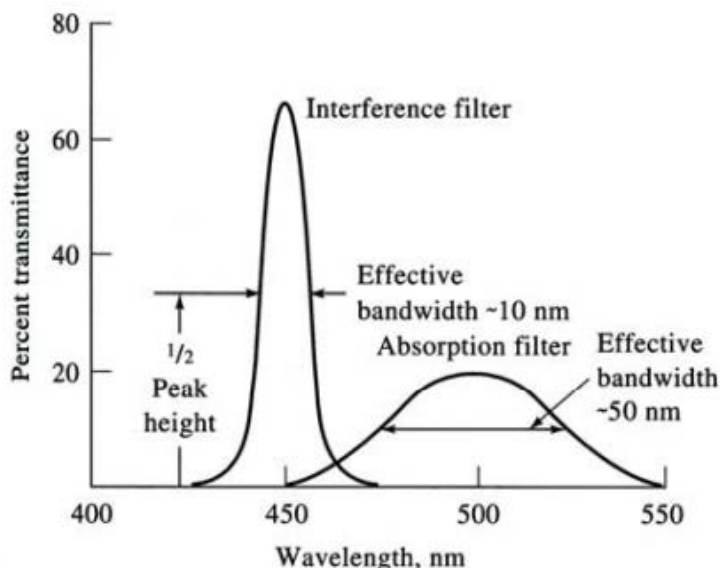
ยอมให้สีน้ำเงินผ่านและดูดกลืนสีเหลือง (สีแดง + สีเขียว) ดังนั้นฟิลเตอร์สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเรียกว่าฟิลเตอร์พื้นฐาน (Primary Filters)



รูปที่ 2.12 ฟิลเตอร์

ในขณะที่เดียวกันฟิลเตอร์สีเหลืองจะยอมให้สีเหลืองผ่าน ซึ่งในสีเหลืองนั้นมีอยู่สองสี คือ สีแดงและสีเขียว ดังนั้นจะดูดกลืนสีน้ำเงินเอาไว้ ฟิลเตอร์สีม่วง (สีแดง + น้ำเงิน) ยอมให้สีม่วงผ่าน แต่จะดูดกลืนสีเขียว และฟิลเตอร์สีฟ้า (สีเขียว + สีน้ำเงิน) ยอมให้สีฟ้าผ่านและดูดกลืนสีแดงเอาไว้ ฟิลเตอร์สีเหลือง สีม่วง และสีฟ้าเรียกว่า ฟิลเตอร์อันดับรอง (Secondary Filters)

ฟิลเตอร์ที่ถูกผลิตใช้งานในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายชนิด ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงฟิลเตอร์ 2 ชนิดที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ ฟิลเตอร์แบบดูดกลืน (absorption filter) และฟิลเตอร์แบบแทรกสอด (interference filter) ฟิลเตอร์แบบดูดกลืนเหมาะสำหรับแสงในย่านวิสิเบิลเท่านั้น ในขณะที่ฟิลเตอร์แบบแทรกสอดสามารถใช้ได้กับแสงอัลตราไวโอเล็ต วิสิเบิล จนถึงย่านอินฟราเรด



รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบแถบความกว้างสเปกตรัมของฟิลเตอร์แบบดูดกลืนและแบบแทรกสอด

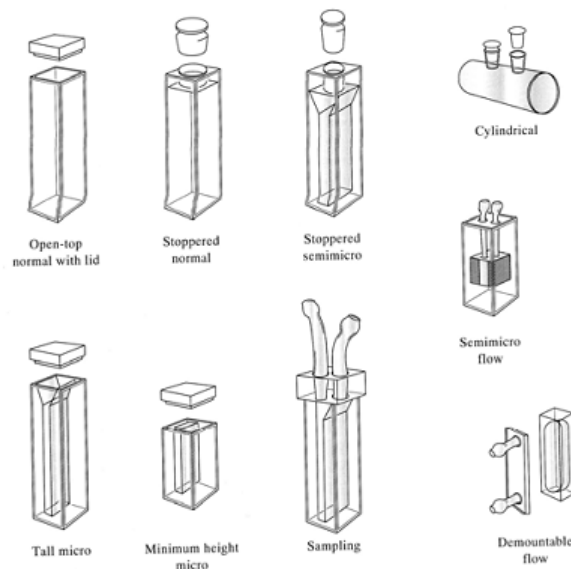
2.1.3 แทนวางสารตัวอย่าง

แท่นวางสารตัวอย่างทำหน้าที่จับยึดตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ลักษณะของแท่นวางสารโดยทั่วไปจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.14 ส่วนของแท่นจับยึดจะถูกออกแบบให้มีรูปทรงกระบอกและมีช่องเปิดสำหรับให้แสงเคลื่อนที่ผ่านเข้าและออก ภายในแท่นสามารถบรรจุควิวเวท (cuvette) หรือภาชนะสำหรับบรรจุสารละลายที่ต้องการทดสอบได้ ควิวเวทอาจจะสร้างจากพลาสติก แก้วหรือควอตซ์ขึ้นกับย่านความยาวคลื่นที่ต้องการศึกษา เช่น การศึกษาในช่วงอัลตราไวโอเล็ตจะต้องใช้ควิวเวทที่ทำจากวัสดุควอตซ์ หรือการศึกษาในช่วงวิสิเบิลอาจใช้แก้วหรือพลาสติกก็ได้



รูปที่ 2.14 แท่นวางสารตัวอย่าง

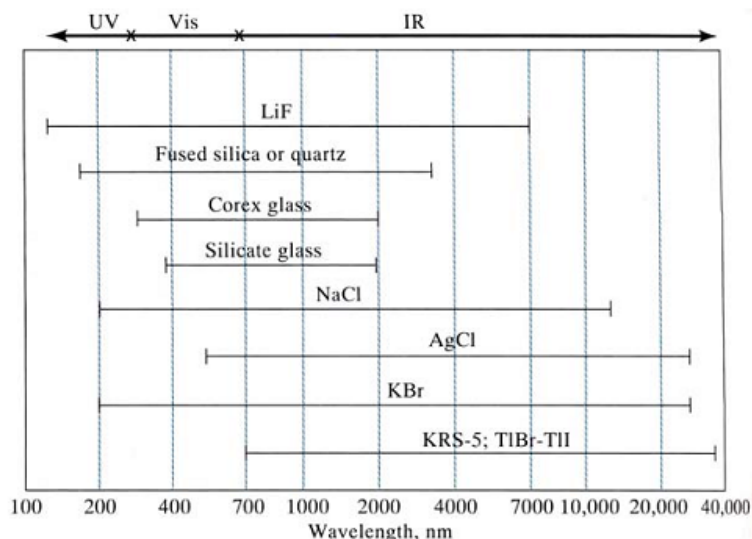
ตัวอย่างของควิวเวทที่วางขายตามท้องตลาดมีลักษณะหลายรูปแบบ แสดงดังรูปที่ 2.15 ควิวเวทจะมีหลายรูปทรงและมีระยะทางที่แสงผ่านได้ตั้งแต่ 0.1 เซนติเมตรจนถึง 10-20 เซนติเมตร ควิวเวทที่นิยมใช้มากที่สุดจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัสทรงสูงที่มีระยะทางให้แสงเคลื่อนที่ขนาด 1 เซนติเมตร ควิวเวทรูปทรงอื่นได้แก่ทรง tall micro มีขนาดสูงและแคบ ใช้สำหรับบรรจุสารปริมาณน้อยๆ



รูปที่ 2.15 ควิวเวทรูปทรงต่างๆ

รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างของวัสดุและความยาวคลื่นที่แสงสามารถทะลุผ่านออกมาได้ จากรูปจะเห็นว่าแก้วซิลิกาสามารถใช้ได้ดีในย่านวิสิเบิลและมีราคาถูก แก้วควอตซ์หรือฟิวส์ซิลิกาสามารถใช้งานในย่านอัลตราไวโอเล็ต หรือการศึกษาในย่านอินฟราเรดซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 2.5 ไมโครเมตรจะไม่สามารถใช้แก้วหรือควอตซ์

ได้เนื่องจากวัสดุเหล่านี้จะดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่นนี้ ดังนั้นวัสดุที่ใช้สำหรับการศึกษาในย่านนี้จึงต้องทำจากเกลือแฮไลด์ (halide salts) เช่น KBr NaCl หรือ AgCl เป็นต้น แต่สารเหล่านี้มีข้อเสียคือเป็นสารที่สามารถละลายน้ำหรือดูดความชื้นและมีราคาแพง



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างของวัสดุและความยาวคลื่นที่แสงสามารถทะลุผ่านออกมาได้

2.1.4 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงทำหน้าที่รับแสงและแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่นิยมใช้ในเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีอยู่หลายชนิด เช่น หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube) อาร์เรย์ของซิลิกอนไดโอดหรืออาร์เรย์ของโฟโตไดโอด (silicon diode arrays หรือ photodiode arrays) และซีซีดี (CCD หรือ Charge-Coupled Device)

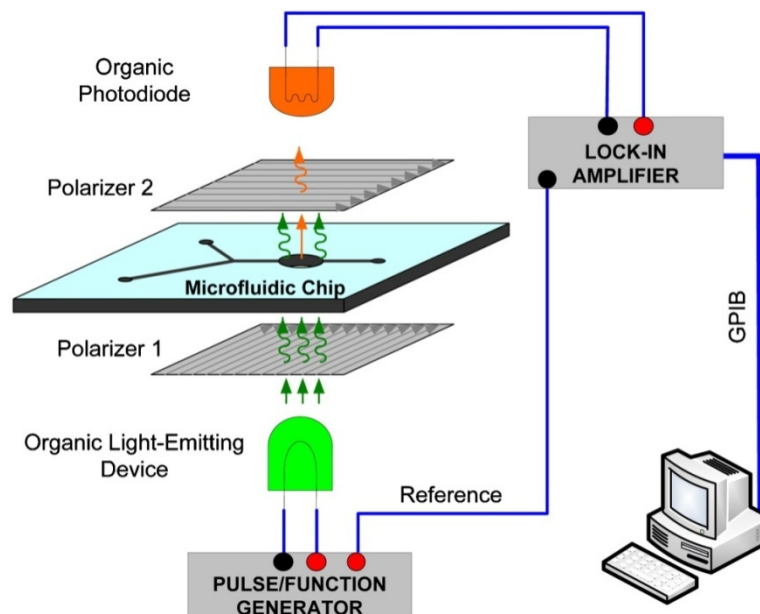
2.3 การประยุกต์ใช้งานของระบบตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์กับไมโครฟลูอิดิก

การวิเคราะห์ทางด้านเคมีและชีววิทยาในระดับไมโคร เทคนิคการตรวจวัดจะใช้ฟลูออเรสเซนซ์ในการตรวจวัด เนื่องจากมีสภาพไวสูง (sensitivity) และเทคนิคนี้ยังเหมาะสมกับการทดสอบในหลายๆด้าน ระบบจะถูกออกแบบให้มีขนาดเท่ากับบัตรเครดิตซึ่งเรียกว่า ไมโครฟลูอิดิก Lab-on-a-chip (LOC)^[3] ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิส (electrophoresis-based devices) เกือบทั้งหมดจะใช้เทคนิคการกระตุ้นฟลูออเรสเซนซ์ด้วยเลเซอร์ (laser induced fluorescence : LIF) เพราะมีสภาพไวและเร็วต่อการตอบสนองเป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์ฟิสิก การตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์ส่วนมากจะมีขนาดในระดับไมโคร โดยจะมีกล้องจุลทรรศน์โฟกัสไปที่ไมโครเซนแนล และจะเชื่อมต่อกับกล้อง charge coupled device (CCD) หรือ ตัวตรวจวัดแสงทวีคูณแบบหลอดสุญญากาศ (photomultiplier tube : PMT) อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์และระบบเหล่านี้จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการตรวจวัดโรคแบบทันที (point-of-care : POC) ในการแพทย์ หรือ ใช้เป็นอุปกรณ์ทดสอบที่พกพาได้ ดังนั้น Lab-on-a-chip (LOC) จึงต้องมีขนาดเล็กและพกพาได้สะดวก

มีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามรวบรวมการตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้ไมโครฟลูอิดิกชิพ Edel และคณะ^[4] จะใช้ polyfluorene based OLED (polymer LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสง โฟโตไดโอดจะทำหน้าที่

เป็นตัวตรวจวัดที่มีขีดจำกัดในการตรวจพบสารสีย้อม fluorescein ที่ความเข้มข้น 1×10^{-6} โมลาร์ Yao และคณะ^[5] ได้สร้างอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกโดยรวม แหล่งกำเนิดการกระตุ้น OLED และตัวตรวจวัด PMT สำหรับการตรวจวัดฟลูออเรสเซนซ์บนชิพโดยใช้ pinhole และ interference filter สำหรับกรองแสงกระตุ้น วิธีนี้จะใช้สารสีย้อม Alexa 532 ซึ่งมี ขีดจำกัดในการตรวจพบที่ความเข้มข้น 3×10^{-6} โมลาร์ (S/N=3) Kim และคณะ^[6] จะแสดงให้เห็นถึงความกะทัดรัดของอุปกรณ์ โดยใช้ OLED เป็นแหล่งกำเนิดแสงและ p-i-n โฟโตไดโอดเป็นตัวตรวจวัด ซึ่งจะใช้ interference filter ในการกรองแสงการกระตุ้นและขีดจำกัดในการตรวจพบสารสีย้อม TAMRA ที่ความเข้มข้น 10×10^{-6} โมลาร์ (S/N=3) DeMello และคณะ^[7] ได้แสดงให้เห็นถึงระบบกะทัดรัดกับ organic electronics สำหรับ chemiluminescence Pagliari และคณะ^[8] ได้ใช้เทคโนโลยีแหล่งกำเนิดแสงใหม่ แหล่งกำเนิดแสงโพลาริไซซ์โดยใช้ electrospun light-emitting polymer nanofibers

ตัวอย่างการจัดเตรียมระบบเพื่อวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์มีลักษณะดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การจัดชุดอุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มข้นสารสีย้อม Rhodamine 6 G^[38]

ระบบที่แสดงมีขีดจำกัดในการตรวจวัดสารสีย้อม Rhodamine 6 G ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 10^{-8} โมลาร์ ระบบนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ต่างๆได้ เช่น อุปกรณ์ทดสอบสิ่งแวดล้อมที่ (on-site environmental testing) อุปกรณ์ตรวจวัดโรคแบบทันใจ (point-of-care diagnostics) และ อุปกรณ์การวิเคราะห์ตัวแทนสงครามในสนามรบ (warfare agent analysis on battlefield) ส่วนประกอบทั้งหมดในระบบจะถูกรวมอยู่บนแผ่นกระจกสร้างเป็นระบบขนาดใหญ่ ต้นทุนต่ำ สร้างได้ง่ายและสามารถใช้แล้วทิ้ง เมื่อไม่นานมานี้กลุ่มวิจัยจากประเทศออสเตรเลียได้ใช้หลักการ cross-polarization วัดออกซิเจนและค่าพีเอช เป็นการประยุกต์ที่น่าสนใจสำหรับระบบ on-chip fluorescence