**บทที่ 1**

**บทนำ**

 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงและการเปล่งแสงของแก้วฟอสเฟตที่เจือธาตุซาแมเรียม (Sm3+) โดยเป็นการศึกษาเชิงทฤษฎี เพื่อพัฒนาเป็นตัวกลางเลเซอร์ และทำการทดลองเพื่อศึกษาการเตรียมตัวอย่างแก้ว ลิเทียม โซเดียม และโพแทสเซียมอะลูมิเนียมฟอสเฟต ที่เติมธาตุซาแมเรียม (Sm3+) ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง และสมบัติการเปล่งแสงของตัวอย่างแก้ว สำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์สีแดงโดยมีที่มาและความสำคัญ และแนวทางในการดาเนินวิจัย ดังนี้

 **1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย**

ปัจจุบันการสังเคราะห์แก้วเพื่อศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพได้รับความสนใจทั้งในทางอุตสาหกรรมและการวิจัยเป็นอย่างมากเนื่องจากการเตรียมไม่ยุ่งยากและใช้เทคโนโลยีไม่ซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก้วที่ประกอบด้วยออกไซด์ของโลหะ (Metal oxide glass) เพราะเนื่องจากมีดรรชนีหักเหสูง ความหนาแน่นสูง มีความสามารถในการส่องผ่านรังสีย่านอินฟราเรด และคุณสมบัติที่ไม่เป็นเชิงเส้นของแสง (optical non-linearity) โดยแก้วที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อใช้เป็นวัสดุทางเเสง คือ แก้วฟอสเฟต (Phosphate glass) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ฟอร์มตัวเป็นแก้วได้ดี นอกจากนี้แก้วฟอสเฟตยังนิยมเติมออกไซด์ของธาตุบางชนิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของแก้ว เช่น ในกรณีของการเติม Sm2O3 เพื่อพัฒนาแก้วเป็นตัวกลางเลเซอร์ เป็นต้น

สำหรับการเตรียมแก้วเพื่อเป็นตัวกลางเลเซอร์นั้นหากเตรียมแก้วขึ้นมาเเล้วไม่มีการวิเคราะห์ทางทฤษฎีรองรับก่อนนำไปประกอบเป็นอุปกรณ์เลเซอร์ เเก้วที่ได้นั้นอาจผลิตเเสงเลเซอร์ไม่ได้ เเละสิ้นเปลืองทั้งเวลาเเละวัสดุอุปกรณ์ที่ราคาเเพง เนื่องจากมีค่าตัวเเปรหลายตัวที่ต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรค่า “ภาคตัดขวางของการกระตุ้นให้เปล่งเเสง” (Stimulated emission cross section; σc) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า เเสงชนิดเดียวในโลกที่เกิดจากกระบวนการ “การกระตุ้นให้เปล่งเเสง” นั้นคือเเสงเลเซอร์ ซึ่งในวงการวิจัยด้านวัสดุเลเซอร์มีเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ค่า “การกระตุ้นให้เปล่งเเสง” ซึ่งก็คือการวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analsis) โดยเทคนิคที่เรียกว่า การวิเคราะห์ Judd-Ofelt (Judd-Ofelt analysis) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนเเสง เเละสเปกตรัมของปรากฏการณ์ Photoluminescence ให้สามารถหาค่า“ภาคตัดขวางของการกระตุ้นให้เปล่งเเสง” ได้ เเต่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เเละวิธีการทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงที่ซับซ้อนมาช่วยทำการวิจัย

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งไปที่การวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยเทคนิค Judd-Ofelt Analysis เพื่อวิเคราะห์ว่าสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการเตรียมแก้วในโครงการที่ 1 นั้นมีความสามารถที่จะเป็นวัสดุตัวกลางเลเซอร์ได้หรือไม่ โดยจะคำนวณค่า “ภาคตัดขวางของการกระตุ้นให้เปล่งเเสง” เเละตัวเเปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในโครงการ โดยจะมีการทำงานร่วมกันระหว่างนักฟิสิกส์ที่มีประสบการณ์วิจัยด้านวัสดุประเภทแก้วและตีพิมพ์ผลงานวิจัยมาอย่างต่อเนื่องและนักคณิตศาสตร์ที่มีความสามารถวิเคราะห์ทางทฤษฎีและการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงเชื่อว่าโครงการนี้จะประสบความสำเร็จอย่างแน่นอน

แก้วเป็นวัสดุที่มีราคาถูก เตรียมง่าย สามารถขึ้นรูปได้หลากหลาย ซึ่งเป็นข้อดีเมื่อเทียบกับวัสดุผลึกเลเซอร์อื่นๆในท้องตลาด แกวฟอสเฟต (Phosphate glass) เปนแกวที่มีฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด (P2O5) เปนสวนผสม แก้วประเภทนี้มีสมบัติทนตอกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งปกติเปนสารเคมีที่สามารถละลายซิลิกาหรือกัดกรอนแกวได้ เเละเป็นที่นิยมใชทําหนาตางสําหรับดูในอุปกรณที่ใชในการทํางาน หรือในการขนยายสารยูเรเนียมที่แยกไดไปใชในงานทางนิวเคลียร เปนตน นอกจากนี้การเติมออกไซดของฟอสฟอรัสลงไปนี้ชวยใหแกวไมดูดกลืนแสงเหนือมวงหรือมีการดูดกลืน นอยที่สุด จึงใชทําแกวอัลตร้าไวโอเลต (Ultraviolet glass) นอกจากนี้ใชกับพวกแกวทางแสงชนิดพิเศษ เช่น แกวดูดกลืนความรอน และ แกวฟลูออเรสเซนต์ (เปล่งเเสง) เปนตน

 อย่างไรก็ตามแก้วฟอสเฟตเพียงอย่างได้ไม่สามารถใช้งานจริงได้เนื่องจากมีสมบัติดูดความชื้นมาก จึงต้องมีการเติมสารอื่นเข้ามาเพื่อปรับปรุงสมบัติการดูดความชื้นให้ดีขึ้น ซึ่งจากการศึกษาในวารสารระดับนานาชาติพบว่าการเติมออกไซด์ของธาตุอัลคาไลน์หมู่ 1 (เช่นในกรณีของ Li, Na หรือ K) จะส่งผลต่อแก้วให้แก้วเสถียรขึ้น และยังมีสมบัติทางแสงที่แตกต่างกัน เเละยังปรับปรุงสมบัติอื่นๆด้วย เช่นสมบัติการเปล่งเเสง (luminescence) ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากในการทำเป็นวัสดุโฟโตนิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนำไปตัวกลางเลเซอร์

 การที่จะทำให้แก้วมีสมบัติเปล่งเเสงได้นั้นจำเป็นจะต้องเติมสารโด๊ปเข้าไปในปริมาณไม่มาก ซึ่งสารที่นิยมเติมคือไอออนธาตุหายาก ซึ่งจะให้ปรากฏการณ์ลูมิเนสเซนต์ที่ดี โดยการเปล่งแสงลูมิเนสเซนต์จะสอดคล้องกับการลดสถานะในชั้น 4f–4f และ 4f–5d ของ REn+ สำหรับการลดสถานะของชั้น 4f–4f นั้นจะใช้รูปแบบการลูมิเนสเซนต์ที่ดีตั้งแต่ช่วงอัลตราไวโอเลตถึงอินฟาเรด ซึ่งเป็นผลมาจากการกำบังของอิเล็กตรอนในวง 5s หรือ 5p ซึ่งการเติมธาตุหายากนี้เป็นเทคนิคที่นิยมมากในการปรับปรุงสมบัติการเปล่งแสงในตัวกลางประเภทแก้ว จากรายงานวิจัยต่างๆพบว่า Sm3+ นั้นเป็นธาตุหายากที่มีความน่าสนใจมาก เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ เช่นเปล่งเเสงในช่วงตามองเห็น (visible luminescence) ในย่านสีส้ม ซึ่งเป็นสีที่ไม่พบในเลเซอร์ทั่วไปตามท้องตลาด แต่สามารถใช้งานประยุกต์ได้หลากหลาย เช่น ในการสื่อสารใต้ทะเล (Under sea communication), ตัวเก็บพลังงานทางแสง (Optical Storage และอุปกรณ์แสดงผล (Optical display) ตัวกลางเลเซอร์ (Laser medium) และ อุปกรณ์เปล่งแสงของแข็ง (Solod state lighting material) เป็นต้น โดยจะมีการเปล่งมีความเข้มสูงในช่วงประมาณ 598 nm และมีระดับพลังงานที่เหมาะสมเเละง่ายต่อการกระตุ้นเพราะมีภาคตัดขวางของการเปล่งเเสงสูง ในบทความวิจัยในวารสารระดับนานาชาติที่ตีพิมพ์ต่างๆ จึงมีการทำงานวิจัยเกี่ยวกับการเติม Sm3+ ลงไปในแก้วอย่างกว้างขวาง โดยตัวอย่างระดับพลังงานของ Sm3+ ที่สามารถเปล่งแสงในช่วงตามองเห็นได้นั้น แสดงดังรูปที่ 1

****

รูปที่ 1 ระดับพลังงานของ Sm3+ ที่สามารถเปล่งแสงในช่วงตามองเห็น

 อย่างไรก็ตามความเข้มเเละสมบัติทางการเปล่งแสงนั้นขึ้นอยู่ความความเข้มข้นของ Sm3+ เเละชนิดของโฮสต์ (host) เป็นหลัก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการเตรียมแก้วระบบใหม่คือ 15R2O : 20Al2O3 : (65-x) P2O5 : xSm2O3 เมื่อ R2O คือ Li2O, Na2O และ K2O โดยที่ x เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 mol% ที่เติม Sm3+ ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน เพื่อศึกษาถึงออกไซด์ของอัลคาไลน์ที่เหมาะสมที่สุดในการเปล่งแสง และค่าความเข้มข้นของ Sm3+ ที่เหมาะสมที่สุด โดยจะมีตัวแปรที่ศึกษาได้แก่สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแสง สมบัติทางโครงสร้าง สมบัติการเปล่งแสง (Photoluminescence) และค่า เวลาการเปล่งเเสง (Life time) เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาเป็นวัสดุทางเเสงเพื่อพัฒนาเป็นตัวกลางทางเลเซอร์ (Laser Medium) ที่เปล่งแสงสีส้มจากแก้วต่อไป

* 1. **วัตถุประสงค์ของงานวิจัย**

1.2.1 วิเคราะห์สเปกตรัมทางแสงของแก้วฟอสเฟตที่เจือ Sm3+ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวกลางเลเซอร์

1.2.2 การพัฒนาตัวกลางเลเซอร์สีส้มชนิดใหม่จากแก้วฟอสเฟตที่เติม Sm3+

1.2.3 พัฒนาตัวกลางเลเซอร์โดยใช้เทคโนโลยีภายในประเทศ

**1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

 I.I. Kindrat, B.V.Padlyak และ A.Drzewiecki ได้ทำการเจือ Sm3+ ลงในแก้ว Li2B4O7, LiKB4O7, CaB4O7 และ LiCaBO3 จากนั้นทำการหาสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และสเปกตรัมการเปล่งแสง พบว่าสเปกตรัมการเปล่งแสงของแก้วตัวอย่างมีความคล้ายคลึงกัน แต่มีจุดที่ต่างกันอันเนื่องมาจากไอออนของ Sm3+ ในระบบแก้วบอเรต จะมีการรบกวนจาก Li+, K+, Ca2+ ที่อยู่โดยรอบของไอออนนั่นเอง และเมื่อวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี Judd-Ofelt พบว่าแก้วตัวอย่างมีค่า Quantum efficiency สูง แก้วดังกล่าวจึงเหมาะที่จะใช้ทำเลเซอร์ในย่านสีส้ม-แดง

R. Rajaramakrishna และคณะ ได้เตรียมแก้วแลนทานัมบอโรเจอมาเนต เจือด้วย Sm3+ ในสูตร (25-x)La2O3:25B2O3:50GeO2:xSm2O3 เมื่อ x = 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0 ร้อยละโดยโมล ซึ่งจากสเปกตรัมการเปล่งแสงเมื่อกระตุ้นด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร พบว่าได้แสงที่เปล่งออกมาเป็นสีส้ม-แดง (ซึ่งสอดคล้องกับ 4G5/2→6H7/2 transition) และค่า Quantum yield ของการเปล่งแสงจะลดลงเมื่อเติม Sm3+ มากกว่า 1.0 ร้อยละโดยโมล ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า แก้วตัวอย่างนี้เหมาะแก่การเป็นวัสดุที่ใช้เป็น Host ของเครื่องยิงเลเซอร์

G.N. Hemantha Kumar และคณะทำการศึกษาแก้วโซเดียมโพแทสเซียมฟอสเฟตที่เจือ Nd2O3 ด้วยความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาสมบัติการดูดกลืน และการเปล่งแสง ตัวแปรความเข้มของ Judd-Ofelt (Ω2, Ω4,Ω6) ถูกคำนวณจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสง เพื่อใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นโควาเลนซ์ (Covalence) กับความเข้มข้นของ Nd2O3 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า Nd3+ มีความเป็นโควาเลนซ์กับลิแกนด์ลดน้อยลงตามความเข้มข้นของ Nd2O3 ที่เพิ่มขึ้น ต่อมาค่า Ω2, Ω4 และΩ6ได้ถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานแล้วทำให้เกิดการเปล่งแสง (Radiative transition probability; AT) เวลาที่ใช้ในการเปล่งแสง (Radiative lifetime; τR) สัดส่วนการเปล่งแสง (Branching ratio; β) ภาคตัดขวางของการดูดกลืนแสง (Absorption cross section) และภาคตัดขวางของการเปล่งแสงโดยวิธีกระตุ้น (Stimulated emission cross section; σp) รวมทั้งมีการคำนวณช่องว่างแถบแสง (Optical band gap) จากสเปกตรัมการดูดกลืนแสง จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดทำให้ทราบได้ว่า สำหรับแก้วในงานวิจัยนี้ มีเพียงการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของ Nd3+ บางส่วนเท่านั้น ที่มีศักยภาพเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านเลเซอร์ โดยเฉพาะ การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน 4G7/2→4I11/2 ซึ่งทำให้เกิดการเปล่งแสง 595 นาโนเมตร ในแก้วที่เจือ Nd2O3 ร้อยละ 0.1 โดยโมล

S. Surendra Babu และคณะ ได้ศึกษาแก้วฟลูอโรฟอสเฟต P2O5:K2O:MgO:Al2O3:AlF3 และ P2O5:K2O:MgO:Al2O3:BaF2 ที่มีการเจือด้วย Nd3+ ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยได้ทำการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืน และการเปล่งแสงของแก้วทั้งหมด ขณะที่การวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีของ Judd-Ofelt ได้ถูกนำมาใช้กับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วที่มีการเจือด้วย Nd3+ ลงไปร้อยละ 1 โดยโมล เพื่อศึกษาสมบัติการเปล่งแสงของ Nd3+ ในแก้วตัวอย่าง ภาคตัดขวางของการเปล่งแสงด้วยวิธีกระตุ้นซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน 4F3/2→4I11/2 ที่คำนวณได้ในงานวิจัยนี้ มีค่าสูงกว่าแก้วชนิดอื่นที่มีการเจือ Nd3+ ลงไป สำหรับค่าสัดส่วนการเปล่งแสงของ 4F3/2→4I11/2 ที่คำนวณได้นั้น แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านเลเซอร์ เช่นเดียวกับผลของภาคตัดขวางของการเปล่งแสงด้วยวิธีกระตุ้นที่ได้กล่าวไปก่อนหน้า นอกจากนี้พบว่า เวลาที่ใช้ในการเปล่งแสงของสถานะ 4F3/2 มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของ Nd3+ มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเกิดจากกระบวนการ Cross-relaxation ระหว่าง Nd3+ ในแก้ว

K.H. Mahmoud ได้ศึกษาสเปกตรัมของ Nd3+ ในแก้วแคดเมียมฟอสเฟต ทฤษฎีของ Judd-Ofelt (J-O) ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ศักยภาพในการนำแก้วไปประยุกต์ใช้เป็นเลเซอร์ และวัสดุขยายสัญญาณแสง ค่าตัวแปร Ω2, Ω4,Ω6 ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 4.80x1020, 6.18x1020 และ 7.14x10-20 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยค่าองค์ประกอบคุณภาพเชิงสเปกตรัม (Quality factor; Ω4/ Ω6) มีค่าเท่ากับ 0.86 ขณะที่ค่าอัตราการ Decay ของการเปล่งแสง และค่าสัดส่วนการเปล่งแสง เนื่องจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน 4F3/2→4IJ ในทางทฤษฎีได้ถูกวิเคราะห์ ซึ่งค่าเวลาที่ใช้ในการเปล่งแสงของสถานะ 4F3/2 ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 31 ไมโครวินาที ผลจากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน 4F3/2→4I11/2 ของ Nd3+ ซึ่งทำให้เกิดการเปล่งแสง 1056 นาโนเมตร มีศักยภาพสูงมากต่อการไปประยุกต์ใช้ในเลเซอร์ เมื่อทำการกระตุ้นแก้วด้วยแสงเลเซอร์ 488 นาโนเมตร พบว่า ทำให้แก้วเกิดการเปล่งแสงแบบ Up-conversion ออกมาทั้งหมด 3 ความยาวคลื่น ได้แก่ 541 (เขียว), 601 (ส้ม) และ 677 (แดง) นาโนเมตร ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน 4G7/2→4I9/2, 4G7/2→4I11/2 และ 4G7/2→4I13/2 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์สมบัติการเปล่งแสงในงานวิจัยนี้สามารถช่วยพัฒนาการใช้ระบบแก้วในงานทางด้านหน้าจอแสดงผล, เลเซอร์ และอุปกรณ์บันทึกด้วยแสดงได้เป็นอย่างดี

C.K. Jayasankar และคณะ ได้ทำการศึกษาการเตรียมแก้วฟลูออโรฟอสเฟตในระบบ P2O5:K2O:KF:BaO:Al2O3:Nd2O3 (PKFBAN)โดยมีความเข้มข้นของ Nd2O3 ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ0.1, 1.0 และ 2.0 โดยโมล เพื่อศึกษาสมบัติการเปล่งแสง ทฤษฎีของ Judd-Ofelt ถูกนำมาใช้วิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วที่เจือ Nd2O3 ร้อยละ 1.0 โดยโมล โดยมีเป้าหมายเพื่อคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติการเปล่งแสง เวลาที่ใช้ในการเปล่งแสงของสถานะ 4F3/2 ทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 348 ไมโครวินาที ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้จากการทดลอง 286 ไมโครวินาที อยู่เล็กน้อย เวลาที่ใช้ในการเปล่งแสงที่วัดได้จะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณการเจือ Nd2O3 โดยที่ Decay curve มีลักษณะการสลายตัวแบบไม่เป็นเอกซ์โพเนนเชียล อันแสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทพลังงานระหว่าง Nd3+ ผ่านอันตรกิริยาแบบคู่ขั้ว-คู่ขั้ว

Z. Mazurak และคณะ ทำการศึกษาสมบัติทางแสงของ Nd3+ ในแก้วฟอสเฟต(45-x)P2O5:25CaO:15SrO:15BaO (x มีค่าเท่ากับร้อยละ 0-1 โดยโมล) โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมของการดูดกลืน และการเปล่งแสง รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเปล่งแสง โครงสร้างที่ไม่ก่อตัวเป็นผลึกของแก้วถูกระบุโดยผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ค่าตัวแปรความเข้มของ Judd-Ofelt (Ω2, Ω4,Ω6) ถูกคำนวณขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสง ต่อมาตัวแปร J-O ได้ถูกใช้ในการหาค่าเวลาที่ใช้ในการเปล่งแสงเชิงทฤษฎี, สัดส่วนการเปล่งแสง และภาคตัดขวางของการเปล่งแสงด้วยวิธีกระตุ้นเนื่องจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงาน 4F9/2→4I9/2 และ 4F9/2→4I11/2 ของ Nd3+ ประสิทธิภาพเชิงควอนตัมของสถานะ 4F9/2 ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.80 สำหรับ Decay curve ของสถานะดังกล่าว มีลักษณะเป็นการสลายตัวแบบเอกโพเนนเชียลเชิงเดี่ยว และสามารถวิเคราะห์ค่าเวลาที่ใช้การเปล่งแสงได้เท่ากับ 334 ไมโครวินาที สำหรับแก้วที่เจือ Nd3+ ร้อยละ 1 โดยโมล

 G. Lakshminarayana และ Jianrong Qiu ได้เตรียมแก้วออกซีฟลูโอไรด์ อลูมิโน-ซิลิเกต แล้วเติมด้วย Pr3+, Sm3+ และ Dy3+ โดยแก้วตัวอย่างที่เติมด้วย Sm3+ เมื่อกระตุ้นด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่น 403 นาโนเมตร (6H5/2→4F7/2) จะทำให้เกิด transition ที่ 4G5/2→6H5/2 (563 นาโนเมตร), 4G5/2→6H7/2 (599 นาโนเมตร) 4G5/2→6H9/2 (645 นาโนเมตร) และ 4G5/2→6H11/2 (707 นาโนเมตร) ซึ่งคลื่นที่ 599 นาโนเมตร มีความสูงของพีคมากที่สุดจึงทำให้แสงที่เปล่งออกมามีสีส้ม และจากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี Judd-Ofelt พบว่าแก้วนี้เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานออปโตอิเล็กทรอนิกส์และงานด้านวัสดุแสดงผล

 Ch. Basavapoornima และ C.K.Jayasankar ได้ทำการเตรียมแก้วลีดฟอสเฟตแล้วเติม Sm3+ ลงในแก้ว (สูตรแก้ว 44P2O5-17K2O-9Al2O3-(24-x)PbO-6Na2O-xSm2O3 เมื่อ x = 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0 เปอร์เซนต์โดยโมล) ซึ่งเตรียมโดยวิธีการ melt-quenching และทำการหาคุณสมบัติต่างๆของแก้ว รวมถึงสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และ สเปกตรัมการเปล่งแสง โดยในการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสง ได้ใช้คลื่นที่มีความยาวคลื่น 488 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งได้แสงที่เปล่งออกมาในย่านสีส้ม-แดง (reddish-orange) และพบว่าแก้วตัวอย่างที่เติม Sm3+ ปริมาณ 2.0 เปอร์เซนต์โดยโมล มี peak ของสเปกตรัมการเปล่งแสงสูงที่สุด จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี Judd-Ofelt พบว่าแก้วตัวอย่างมีความเหมาะสมในการใช้งานทางเลเซอร์ มากกว่า แก้วเทลูเลตคาลิบอ, แก้วออกซี่ฟลูโอโรบอเรต, แก้วลีดฟลู-โอโรบอเรต และ ZFBP ในการวัดอัตราการ decay สำหรับระดับพลังงาน 4G5/2 ของไอออน Sm3+ ในแก้วพบว่าเป็นแบบ single-exponential เมื่อมีการเติม Sm3+ ที่ 0.1 และ 0.5 เปอร์เซนต์โดยโมล แต่จะเป็นแบบ non-exponential เมื่อมีการเติม Sm3+ มากขึ้น (ที่ 1.0 และ 2.0 เปอร์เซนต์โดยโมล) เนื่องจากเกิดการถ่ายเทพลังงานแบบ cross-relaxation และจากการใช้โมเดล Inokuti-Hirayma ทำให้ทราบว่าการถ่ายเทพลังงานเป็นแบบ ไดโพล-ไดโพล

**1.4 ขอบเขตของการทำงานวิจัย**

 1.4.1 ใช้สูตรแก้วที่เจือ Sm3+ ในรูปของ (Sm2O3) ลงไปในแก้วที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ในโครงการที่ 1 มาวัดสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ดรรชนีหักเห

- การดูดกลืนเเสง

- การเปล่งเเสง

- ความหนาของแก้ว

1.4.2 วิเคราะห์สเปกตรัมโดยเทคนิค Judd-Ofelt analysis

1.4.3 ออกแบบสูตรแก้ว 15R2O : 20Al2O3 : (65-x) P2O5 : xSm2O3 เมื่อ R2O คือ Li2O, Na2O และ K2O โดยที่ x เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 mol% ที่เติม Sm3+ ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

 1.4.4 ทดลองหลอมแก้ว เพื่อหาจุดหลอมเหลวที่เหมาะสม เเละอุณหภูมิอบที่เหมาะสม

 1.4.5 เติม Sm3+ ในรูปของ (Sm2O3) ลงไปในแก้วที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

 1.4.6 วัดคุณสมบัติทางกายภาพของแก้ว ได้แก่ ความหนาแน่น

 1.4.7 วัดคุณสมบัติทางโครงสร้างของแก้ว ได้แก่ ปริมาตรเชิงโมล

 1.4.8 วัดการดูดกลืนเเสงในช่วง UV-VIS-NIR เพื่อศึกษาหาระดับพลังงาน (Energy Level)

 ของ Sm3+ ในโครงสร้างแก้ว

 1.4.9 วัดสมบัติการเปล่งเเสงของแก้วที่เติม Sm3+

 1.4.10 ศึกษาหาชนิดของอัลคาไลน์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการเติมลงในแก้ว

 1.4.11 ศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะที่สุดในการเติม Sm2O3 ลงไปในแก้ว

 1.4.12 ศึกษาความเป็นได้ในการเตรียมเป็นตัวกลางเลเซอร์ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลึกในท้องตลาด

 1.4.13 เขียนบทความวิจัยลงในประชุมวิชาการหรือวารสารระดับนานาชาติ

 1.4.14 สรุปผลการทดลองและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

**1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย**

 1.5.1 ใช้สูตรแก้วที่เจือ Sm3+ ในรูปของ (Sm2O3) ลงไปในแก้วที่ความเข้มข้นต่างกัน ในโครงการที่ 1 มาวัดสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ดรรชนีหักเห

- การดูดกลืนเเสง

- การเปล่งเเสง

- ความหนาของแก้ว

1.5.2 วิเคราะห์สเปกตรัมโดยเทคนิค Judd-Ofelt analysis

1.5.3 ศึกษาความเป็นได้ในการเตรียมเป็นตัวกลางเลเซอร์ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลึกในท้องตลาด

1.5.4 ออกแบบสูตรแก้ว 15R2O : 20Al2O3 : (65-x) P2O5 : xSm2O3 เมื่อ R2O คือ Li2O, Na2O และ K2O โดยที่ x เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 mol% ที่เติม Sm3+ ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

 1.5.5 ทดลองหลอมแก้ว เพื่อหาจุดหลอมเหลวที่เหมาะสม เเละอุณหภูมิอบที่เหมาะสม

 1.5.6 เติม Sm3+ ในรูปของ (Sm2O3) ลงไปในแก้วที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน

 1.5.7 วัดคุณสมบัติทางกายภาพของแก้ว ได้แก่ ความหนาแน่น

 1.5.8 วัดคุณสมบัติทางโครงสร้างของแก้ว ได้แก่ ปริมาตรเชิงโมล

 1.5.9 วัดการดูดกลืนเเสงในช่วง UV-VIS-NIR เพื่อศึกษาหาระดับพลังงาน (Energy Level) ของ Eu3+ ในโครงสร้างแก้ว

 1.5.10 วัดสมบัติการเปล่งเเสงของแก้วที่เติม Sm3+

 1.5.11 ศึกษาหาชนิดของอัลคาไลน์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการเติมลงในแก้ว

 1.5.12 ศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะที่สุดในการเติม Sm2O3 ลงไปในแก้ว

 1.5.13 ศึกษาความเป็นได้ในการเตรียมเป็นตัวกลางเลเซอร์ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลึกในท้องตลาด

 1.5.14 เขียนบทความวิจัยลงในประชุมวิชาการหรือวารสารระดับนานาชาติ

 1.5.15 สรุปผลการทดลองและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

**1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1.6.1 ได้สูตรแก้วฟอสเฟตที่เจือ Sm3+ ที่สามารถพัฒนาเป็นตัวกลางเลเซอร์ได้

1.6.2 หน่วยงานวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งได้แก่ มหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยต่างๆ โรงพยาบาล และอุตสาหกรรมที่ใช้เลเซอร์

1.6.3 งานวิจัยจากโครงการนี้น่าจะตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติได้อย่างน้อย 1 บทความ

1.6.4 งานวิจัยนี้จะผลิตนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาอย่างน้อย 1 คน

1.6.5 หน่วยงานวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งได้แก่ มหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยต่างๆ โรงพยาบาล และอุตสาหกรรมที่ใช้เลเซอร์

**1.7 สถานที่ทำวิจัย**

 1.7.1 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

 1.7.2 ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ต.นครปฐม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

**1.8 ระยะเวลาทำวิจัย**

 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 1 ปี เริ่มต้นเดือนตุลาคม 2560 สิ้นสุดเดือนกันยายน 2561 แสดงดังตารางที่ 1.1

**ตารางที่ 1.1** แผนการทำงานวิจัย

|  |  |
| --- | --- |
| กิจกรรม/ขั้นตอนการดำเนินงาน | ปีที่ 1 |
| ระยะเวลา (เดือนที่) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. ออกแบบสูตรแก้ว 15R2O : 20Al2O3 : (65-x) P2O5 : xSm2O3 เมื่อ R2O คือ Li2O, Na2O และ K2O โดยที่ x เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, 0.50, 1.00 และ 2.00 mol% ที่เติม Sm3+ ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2. สั่งซื้อสารเคมีเเละวัสดุที่จำเป็น  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3.ทดลองหลอมแก้วเพื่อหาจุดหลอมเหลวที่เหมาะสม เเละอุณหภูมิอบที่เหมาะสม |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4. เติม Sm3+ ในรูปของ (Sm2O3) ลงไปในแก้วที่ความเข้มข้นต่างๆกัน |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5. วัดคุณสมบัติทางกายภาพของแก้ว ได้แก่ ความหนาแน่น  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6. วัดคุณสมบัติทางโครงสร้างของแก้ว ได้แก่ ปริมาตรเชิงโมล |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7. วัดการดูดกลืนเเสงในช่วง UV-VIS-NIR เพื่อศึกษาหาระดับพลังงาน (Energy Level) ของ Sm3+ ในโครงสร้างแก้ว |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8. วัดสมบัติการเปล่งเเสงของแก้วที่เติม Sm3+  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9. ศึกษาหาชนิดของอัลคาไลน์ออกไซด์ (Li2O, Na2O และ K2O) ที่เหมาะสมในการเติมลงในแก้ว |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| กิจกรรม/ขั้นตอนการดำเนินงาน | ปีที่ 1 |
| ระยะเวลา (เดือนที่) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 10. ศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะที่สุดในการเติม Sm2O3 ลงไปในแก้ว |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11. ศึกษาความเป็นได้ในการเตรียมเป็นตัวกลางเลเซอร์ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลึกในท้องตลาด |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12. ส่งบทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 13. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยทั้งหมด |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14. เขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |