

รหัสโครงการ SUT1-105-47-12-54



รายงานการวิจัย

การศึกษาเชิงทฤษฎีของลักษณะเกนสำหรับระบบเลเซอร์แบบพิเศษ
(Theoretical Study of the Gain Profile of Unconventional
Inhomogeneous Laser)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยและผู้เกี่ยวข้อง

รหัสโครงการ SUT1-105-47-12-54



รายงานการวิจัย

การศึกษาเชิงทฤษฎีของลักษณะเกนสำหรับระบบเลเซอร์แบบพิเศษ (Theoretical Study of the Gain Profile of Unconventional Inhomogeneous Laser)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ดร. สุกัญญา เตชะไตรภพ

สาขาวิชา เทคโนโลยีเลเซอร์และโฟตอนิกส์

สำนักวิชา วิทยาศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2547

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2550

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของงานวิจัยชิ้นนี้จะเกิดไม่ได้ถ้าปราศจากการกำลังใจจากมารดา ครูอาจารย์ พี่
และเพื่อนของผู้ทำวิจัย รวมทั้งการสนับสนุนทางการเงินจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ทำวิจัยจึงขอแสดงความขอบคุณมา ณ.ที่นี้

บทคัดย่อ

โดยปกติระบบเลเซอร์ประกอบไปด้วยสารเลเซอร์ (Laser Medium) เพียงชนิดเดียว ซึ่งสารเลเซอร์นี้เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของเลเซอร์ทางด้านสเปคตรัมและเวลา ดังนั้นคุณลักษณะและความสามารถของเลเซอร์จึงได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว ประกอบกับชนิดของสารเลเซอร์มีจำนวนที่จำกัด จึงทำให้การพัฒนาคุณภาพของเลเซอร์จึงมีข้อจำกัด ในขณะที่เดียวกันการพัฒนาคุณภาพของเลเซอร์สามารถกระทำได้โดยใช้สารเลเซอร์มากกว่าหนึ่งชนิดในภายในระบบเลเซอร์เดียวกัน ซึ่งเรียกละเซอร์ชนิดนี้ว่าระบบไฮบริดเลเซอร์ (Hybrid Laser) หรือระบบเลเซอร์แบบพิเศษ (Unconventional Laser) [5] [6-11] งานวิจัยนี้เป็นการใช้สารเลเซอร์แบบอินโฮโมจีเนียส (Inhomogeneous media) ทั้งสองชนิดซึ่งเป็นงานวิจัยที่ยังไม่มีการวิจัยมาก่อน ลักษณะของเกนโปรไฟล์ (Gain Profile) ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของไฮบริดเลเซอร์ [5] ในการประเมินผลโดยใช้คอมพิวเตอร์แสดงลักษณะของเกนแบบไม่อิมิต์ที่ลักษณะต่างๆ โดยการเปลี่ยนค่าพลังงานที่ให้แก่สารเลเซอร์ทั้งสองชนิด คือ สารนีโอดีเมียมฟอสเฟตแก้ว (Neodymium Phosphate Glass) และนีโอดีเมียมซิลิเกตแก้ว (Neodymium Silicate Glass) ผลการคำนวณแสดงว่าลักษณะของเกนโปรไฟล์ของสารเลเซอร์แบบพิเศษนี้มีความกว้างและเรียบกว่าเกนที่ได้จากสารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตแก้ว หรือนีโอดีเมียมซิลิเกตแก้วเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าระบบเลเซอร์แบบพิเศษนี้จะช่วยพัฒนาคุณภาพของเลเซอร์ที่ดีกว่าระบบเลเซอร์แบบปกติ

Abstract

Conventional laser composes of one laser medium which mainly determines the laser properties which are spectral and temporal characteristics of laser system. Therefore, the laser properties and performance are predetermined. Moreover, they are restricted by the limited choice of the laser medium. An additional way of improving the laser performance is using a combination of laser media which is called as a hybrid laser or an unconventional laser system [5] [6-11]. Instead of using different types of laser media, this work used two inhomogeneous laser media, neodymium phosphate glass and neodymium silicate glass. In order to predict the behavior of laser in general, the laser gain profile is often analyzed [5]. The computer simulation showed the unsaturated gain profile of hybrid laser can be manipulated by applying input energy to both laser media. The results of unsaturated gain profile showed that the gain linewidths were broader and flatter than the gain profile of neodymium phosphate glass laser or neodymium silicate glass laser alone. Therefore, with the proper applied energy, the unconventional laser could provide more stable and shorter laser pulse duration than the conventional laser alone.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 สารเลเซอร์	
2.1 รายละเอียดของสารเลเซอร์โดยย่อ.....	4
2.2 คุณสมบัติด้านวัสดุและคุณสมบัติทางแสงของสารนีโอดีเมียมแก้ว (Material and Optical Characteristic of Nd:glass Media).....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีการเกิดไฮบริดเลเซอร์	
3.1 ไฮบริดเลเซอร์โมเดล (Hybrid Laser Model).....	10
บทที่ 4 การประเมินผลด้วยคอมพิวเตอร์	
4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ (Used Parameters in Numerical Simulation).....	14
4.2 ผลการประเมินผลลักษณะเกณฑ์ไม่ล้มตัวด้วยคอมพิวเตอร์ (Numerical Simulation Results).....	15
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	25
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	27
บรรณานุกรม.....	28
ประวัติผู้วิจัย.....	30

รูป 2.1 แสดงแผนผังพลังงานของสาร ไอออนนีโอติเมียม Nd³⁺ ในแก้ว (the energy level diagram of Nd³⁺ ions in glass) [15] คำอธิบายสัญลักษณ์.....6

รูปที่ 4.1 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อ้อมตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ (a) ค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมฟอสเฟตแก้ว (rPo) ที่ 1.50 และ (b) ค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมซิลิเกตแก้ว (rSo) ที่ 1.5016

รูปที่ 4.2 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อ้อมตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ โดยการทำการให้ค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมฟอสเฟตแก้ว (rPo) ที่ 1.50 และอินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมซิลิเกตแก้ว (rSo) ที่ 1.50.....18

รูปที่ 4.3 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อ้อมตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ โดยการทำการให้ค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมซิลิเกตแก้ว (rSo) คงเดิมที่ 6.00 และเปลี่ยนค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมฟอสเฟตแก้ว (rPo) ที่ 0.0, 0.50 , และ 2.0019

รูปที่ 4.4 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อ้อมตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ โดยการทำการให้อินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมฟอสเฟตแก้ว (rPo) คงเดิมที่ 6.00 และเปลี่ยนค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมซิลิเกตแก้ว (rSo) ที่ 0.0, 0.50 , และ 2.0021

รูปที่ 4.5 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อ้อมตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ โดยให้อินเวอร์ชันเรโซของนีโอติเมียมฟอสเฟตแก้ว (rPo) และนีโอติเมียมซิลิเกตแก้ว (rSo) คงเดิมที่ 6.0023

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าอิมิตชันครอสเซ็กชัน (Emission Cross Section) ของสารเลเซอร์นีโอดีเมียม ที่ ปลดปล่อยพลังงานระหว่างระดับพลังงาน $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ [17]	7
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซเลเซอร์และนีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซเลเซอร์ [2.9].	9

คำอธิบายสัญลักษณ์

σ_0 แทน	อีมิทชันครอสเซกชัน (Emission cross section)
$N_a(\nu_\xi)$ แทน	ปิ๊อปปูเลชันอินเวอร์ชัน (Population inversion)
$\gamma_a(\nu_i)$ แทน	เกนโคอэффициเียน (Gain coefficient) ของสารเลเซอร์ a
ν_i แทน	ค่าความถี่ที่ i
$I_{s,a}$ แทน	ค่าความเข้มของสัญญาณเลเซอร์ที่สถานะอิมิตัว (homogeneous saturation intensities) ของเลเซอร์ a
$I_{s,b}$ แทน	ค่าความเข้มของสัญญาณเลเซอร์ที่สถานะอิมิตัว (homogeneous saturation intensities) ของเลเซอร์ b
$\frac{dI(\nu_i)}{dt}$ แทน	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเลเซอร์ ที่กระทำต่อเวลาและความถี่ i
$p(\nu_\xi)$ แทน	การกระจายแบบ Gaussian
T_r แทน	ระยะเวลาการเดินทางของสัญญาณเลเซอร์ใน 1 รอบ (Cavity round-trip transit time)
δ แทน	ค่าความสูญเสียของระบบเลเซอร์ที่ 1 รอบ (Round-trip cavity loss)
$p_{m,a}$ แทน	ขนาดของสารเลเซอร์ ในการเดินทางของสัญญาณเลเซอร์ใน 1 รอบ (Round-trip lengths) ของสารเลเซอร์ a
$p_{m,b}$ แทน	ขนาดของสารเลเซอร์ ในการเดินทางของสัญญาณเลเซอร์ใน 1 รอบ (Round-trip lengths) ของสารเลเซอร์ b
r_{a0} แทน	ค่าเกนแบบไม่อิมิตัวของของสารเลเซอร์ a
r_{b0} แทน	ค่าเกนแบบไม่อิมิตัวของของสารเลเซอร์ b
S_a แทน	ค่าพารามิเตอร์แบบอิมิตัว (Saturation parameters) สารเลเซอร์ a
S_b แทน	ค่าพารามิเตอร์แบบอิมิตัว (Saturation parameters) สารเลเซอร์ b

บทที่ 1.

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ชนิดของสารเลเซอร์ (Laser Medium) เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติหลักของเลเซอร์ (Laser) ด้านสเปกตรัม (Spectrum) และด้านเวลา (Temporal) ดังนั้นคุณสมบัติและความสามารถของเลเซอร์จึงถูกกำหนดตายตัวและมีข้อจำกัด ประกอบกับชนิดของสารเลเซอร์ที่ทำให้เกิดเลเซอร์ได้นั้นมีจำนวนจำกัด ผลของชนิดของสารเลเซอร์ที่สามารถทำให้เกิดเลเซอร์และคุณลักษณะที่ถูกกำหนดโดยสารเลเซอร์จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญ ในการพัฒนาประสิทธิภาพของเลเซอร์

ในการสร้างระบบอัลตราฟาสเลเซอร์ (Ultrafast laser system) เป็นระบบเลเซอร์ที่มีค่าพัลส์ในเชิงเวลา หรือที่เรียกว่า ความกว้างพัลส์ที่แคบ (Pulse duration) หรือมีค่าพัลส์ในเชิงสเปกตรัมหรือความถี่ที่กว้าง ในการสร้างระบบเลเซอร์ดังกล่าว ระบบจะต้องส่วนประกอบหลักดังนี้คือขนาดลักษณะเกน (Gain profile) ที่กว้าง [1-4] โดยปกติคุณลักษณะชนิดนี้มักได้จากสารเลเซอร์ที่เรียกว่า “อินโฮโมจีเนียส” (Inhomogeneous laser media) เนื่องจากด้วยสารเลเซอร์ที่มีลักษณะเกนที่กว้างสามารถทำให้เกิดเลเซอร์ได้เป็นบริเวณกว้างในเชิงความถี่และครอบคลุมจำนวนโมดเลเซอร์ได้จำนวนหลายโมด จำนวนโมดเลเซอร์ที่มากก็บอถึงความเป็นไปได้ที่สารเลเซอร์ชนิดนี้สามารถทำให้เกิดความกว้างพัลส์ที่แคบๆ หรือระบบอัลตราฟาสเลเซอร์ที่ดีได้ แต่เนื่องจากด้วยลักษณะเกนเป็นลักษณะเฉพาะของสารเลเซอร์นั้นๆ ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตอัลตราฟาสเลเซอร์ของสารเลเซอร์แต่ละชนิดจึงได้ถูกจำกัด แต่อย่างไรก็ตามการที่มีจำนวนเลเซอร์โมดที่มากๆนั้น ก็ไม่ได้หมายความว่าจะมีผลดีต่อการผลิตอัลตราฟาสเลเซอร์แต่เพียงอย่างเดียว จำนวนเลเซอร์ที่สามารถเกิดได้มีมาก นั่นก็หมายความว่าเลเซอร์แต่ละโมดมีการแข่งขันซึ่งกันและกันสูง จึงทำให้นำมาซึ่งผลเสียหลัก กล่าวคือ ความยากของการเกิดอัลตราฟาสเลเซอร์ และเสถียรภาพของเลเซอร์ (Laser stability) ที่ลดลง

แนวทางในการพัฒนาคุณภาพและคุณสมบัติของเลเซอร์ โดยใช้สารเลเซอร์มากกว่าหนึ่งชนิดในระบบเลเซอร์เดียวกัน เราเรียกระบบเลเซอร์ชนิดนี้ว่า ไฮบริดเลเซอร์ (Hybrid laser) หรือเลเซอร์แบบพิเศษ (Unconventional laser system) ไฮบริดเลเซอร์ที่ได้ทำการวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้สารเลเซอร์แบบอินโฮโมจีเนียสและโฮโมจีเนียสได้มีการทดลองวิจัยเชิงทฤษฎี [5] และการทดลอง [6-7] ในระบบพัลส์รั่ว หรือ cw อีกทั้ง โมดล็อกเลเซอร์ [8-11] ไฮบริดเลเซอร์ที่ได้แสดงให้เห็น

ว่าเลเซอร์มีการพัฒนาคุณภาพทั้งด้านความกว้างพัลส์และความเสถียรจากเลเซอร์ธรรมดา (มีสารเลเซอร์ชนิดเดียว) ที่สำคัญก็คือคุณสมบัติของไฮบริดเลเซอร์สามารถใช้รูปลักษณะแกนเป็นตัววิเคราะห์และกำหนดคุณสมบัติของไฮบริดเลเซอร์ที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ตามที่ได้กล่าวในเบื้องต้นแล้วว่า ระบบเลเซอร์ที่ประกอบด้วย สารเลเซอร์แบบอินโฮโมจีนีเยียมมีค่าแกนลายวิท (Gain line width) ที่กว้าง จึงสามารถให้จำนวนเลเซอร์โมดมาก จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการสร้างระบบเลเซอร์ [12-14] ที่มีค่าพัลส์ในเชิงเวลา หรือที่เรียกว่า ความกว้างพัลส์ที่แคบ แต่ข้อเสียการที่แกนลายวิทที่มีจำนวน โมดมากก็คือ แต่ละ โมดพยายามที่จะทำให้ตัวเองเกิดเป็นเลเซอร์โมดที่แข็งแรง โดยการแย่งชิงแกนหรือพลังงานจากโมดข้างเคียง สรุปก็คือจำนวนโมดมาก อัตราการแข่งขันกันของแต่ละ โมดมากขึ้นตามลำดับ ผลก็คือเลเซอร์มีความไม่เสถียรสูง สารเลเซอร์แบบอินโฮโมจีนีเยียมมีสองชนิดหลักคือ ชนิดที่มีแกนลายวิทกว้างมาก มีความเป็นอินโฮโมจีนีเยียมสูง (Strong inhomogenously broadened laser medium) ให้สัญญาณเลเซอร์มีความไม่เสถียรสูงกว่า ส่วนชนิดที่มีแกนลายวิทแคบกว่า มีความเป็นอินโฮโมจีนีเยียมต่ำ (Weak inhomogenously broadend laser medium) ให้สัญญาณเลเซอร์ที่เสถียรมากกว่า แต่เลเซอร์ให้ความกว้างพัลส์ที่กว้างกว่า เนื่องจากแกนลายวิทที่แคบ ในงานวิจัยนี้ใช้สารเลเซอร์ทั้งสองชนิดนั้นคือ สารเลเซอร์แบบมีความเป็นอินโฮโมจีนีเยียมสูงและต่ำเพื่อให้ปรับปรุงความเสถียรของสัญญาณเลเซอร์และเพิ่มขนาดลักษณะแกน อีกทั้งค่าเกณฑ์ของสารเลเซอร์ไม่อยู่ในตำแหน่งความยาวคลื่นเดียวกัน การรวมกันของลักษณะแกนจากทั้งสองสารเลเซอร์ทั้งสองชนิดอาจจะลดอัตราการแข่งขันของการขยายของขนาดของลักษณะแกนในทางลบ แต่จะเสริมให้ลักษณะแกนมีความเรียบมากขึ้นพร้อมกับการขยายขนาดของลักษณะแกนที่กว้างขึ้น คาดหวังว่าการศึกษารูปแบบลักษณะแกนของระบบเลเซอร์แบบพิเศษหรือไฮบริดเลเซอร์จะช่วยนำเสนอและชี้แนะในการสร้างระบบเลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพกว่าเลเซอร์ชนิดใดชนิดหนึ่ง ในงานวิจัยหัวข้อนี้เป็นงานวิจัยที่ยังไม่เคยมีการศึกษามาก่อน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

วิธีในการวิจัยเชิงทฤษฎีนี้เริ่มจากการศึกษาลักษณะแกนของระบบเลเซอร์แบบพิเศษที่ประกอบด้วย สารเลเซอร์สองชนิดกล่าวคือไฮบริดเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตแก้ว (Neodimium Phosphate Glass) และนีโอดีเมียมซิลิเกตแก้ว (Neodimium Siligate Glass) สารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตแก้วมีความเป็นอินโฮโมจีนีเยียมต่ำ ส่วนสารเลเซอร์นีโอดีเมียมซิลิเกตแก้วมีความเป็นอินโฮโมจีนีเยียมสูง โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลลักษณะแกนของสารไฮบริดเลเซอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ระบบไฮบริดต์เลเซอร์ที่ประกอบไปด้วยสารเลเซอร์แบบอินโฮโมจีเนียสสองชนิดควรให้ลักษณะเกณฑ์แตกต่างจากการใช้สารเลเซอร์ชนิดเดียว และการรวมกันและกระทำปฏิกิริยาของเกณฑ์เกณฑ์ย่อยภายในสารเลเซอร์แต่ละชนิด และระหว่างสารเลเซอร์ทั้งสองภายใต้เลเซอร์ควิต์เดียวกัน ส่งผลให้ลักษณะเกณฑ์ใหม่ภายใต้ระบบไฮบริดต์เลเซอร์ที่ได้ควรมีความกว้างและเรียกว่าลักษณะเกณฑ์ของเลเซอร์ชนิดเดียว ซึ่งลักษณะเกณฑ์นี้ควรจะเป็นการขึ้นเเนะ และแสดงความเป็นไปได้ในการพัฒนาคุณสมบัติของเลเซอร์

บทที่ 2.

สารเลเซอร์

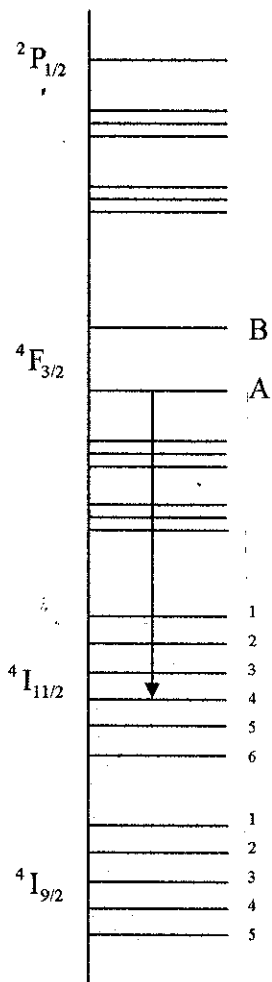
2.1 รายละเอียดของสารเลเซอร์โดยย่อ

สารเลเซอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ นีโอไดเมียมฟอสเฟตแก้ว และนีโอไดเมียมลิเทียมฟอสเฟตแก้ว สารเลเซอร์ทั้งสองชนิดเป็นสารเลเซอร์แบบอินโซโมจีเนียสทำให้มีขนาดเกณฑ์การเลเซอร์ที่กว้าง โดยสารเลเซอร์นีโอไดเมียมฟอสเฟตแก้วให้ขนาดเกณฑ์การเลเซอร์ที่แคบกว่าสารเลเซอร์นีโอไดเมียมลิเทียมฟอสเฟตแก้ว สารเลเซอร์ทั้งสองชนิดเป็นสารที่มีการโคปด้วยสารนีโอไดเมียม Nd^{3+} และสามารถรับพลังงาน (Absorption Energy) ในช่วงความยาวคลื่น 800 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นหลักของไดโอดเลเซอร์ เป็นผลให้สารเลเซอร์ทั้งสองชนิดมีการใช้ไดโอดเลเซอร์เป็นแหล่งให้พลังงานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากระบบไดโอดเลเซอร์ไม่ได้มีระบบทำความเย็นที่ยุ่งยาก ระบบไฟฟ้าแบบเฟสเดียวที่กำลังกระแสต่ำ เป็นผลให้ระบบเลเซอร์มีขนาดกะทัดรัดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอาร์กอนเลเซอร์ โดยบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสารเลเซอร์ทั้งสองชนิดด้านคุณลักษณะโดยทั่วไป ด้านแสงและช่วงการปลดปล่อยพลังงาน ที่มีผลต่อสเปกตรัมของแสง (Lasing Spectra)

2.2 คุณสมบัติด้านวัสดุและคุณสมบัติทางแสงของสารนีโอไดเมียมแก้ว (Material and Optical Characteristics of Nd:glass Media)

สารนีโอไดเมียมแก้วเป็นสารที่มีโครงสร้างแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous structure) ปฏิกริยาตอบสนองระหว่างไอออนนีโอไดเมียม Nd^{3+} กับอิเล็กตรอนมีค่าแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน เป็นผลให้อิเล็กตรอนแต่ละตำแหน่งมีค่าพลังงานที่แตกต่างกันรวมทั้งการปลดปล่อยพลังงานที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันด้วย เป็นผลให้สารนีโอไดเมียมแก้วมีความเป็นสารเลเซอร์แบบอินโซโมจีเนียส และมีขนาดเกณฑ์การเลเซอร์ที่กว้าง รูป 2.1 แสดงแผนผังพลังงานของสารไอออนนีโอไดเมียม Nd^{3+} ในแก้ว (the energy level diagram of Nd^{3+} ions in glass) [15] ให้เลเซอร์ที่ปลดปล่อยพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 1.06 μm ที่ระดับพลังงาน ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ [16-17] เนื่องจากผลของสแตกสปีตติ้ง (Stark Splitting) ทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานจาก ${}^4F_{3/2}$ ที่มีระดับพลังงานย่อยสองระดับพลังงานไปยังพลังงานที่อยู่ด้านล่าง ${}^4I_{11/2}$ ประกอบไปด้วยระดับพลังงานย่อยหกระดับ ดังนั้นการปลดปล่อยพลังงานของสารเลเซอร์ในรูปสเปกตรัมจึงสามารถเกิดขึ้นได้ 12 เส้นสเปกตรัม โดยแต่ละเส้นสเปกตรัมมีค่าอิมิตชันครอสเซกชัน (Emission Cross Section) ที่แตกต่างกัน ดังแสดงดังตารางที่ 2.1

ผลของสตั๊กสปีทตั้งให้ระดับพลังงาน ${}^4F_{3/2}$ มีค่าลายวิทโดยประมาณ 100 cm^{-1} และ ${}^4I_{11/2}$ มีค่าลายวิทโดยประมาณ 300 cm^{-1} ค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับพลังงานย่อย (Substate) มีค่าเป็น 50 cm^{-1} [16] โดยมีค่าไฮโมจีเนียสลายวิทที่ประมาณ $20\text{-}50 \text{ cm}^{-1}$ [15], [18] โดยปกติสารเลเซอร์นีโอติ-เมียมก๊าสโดยทั่วไปมีความลายวิทอยู่ในช่วง $50\text{-}80 \text{ cm}^{-1}$ [16] ซึ่งเป็นค่าที่ตรงกับค่าพลังงานย่อยของ ${}^4I_{11/2}$ ค่าฟูออเรสเซนซ์ลายวิท (fluorescence linewidth) เป็นค่าผลรวมของไฮโมจีเนียส สตั๊กสปีทตั้ง และอินไฮโมจีเนียสของระดับพลังงานย่อยที่เกิดจากผลของสตั๊กสปีทตั้ง ค่าลายวิทของเลเซอร์ชนิดนี้อยู่ในช่วงมีค่าประมาณ 300 cm^{-1} [16]



รูป 2.1 แสดงแผนผังพลังงานของสารไอออนนีโอติเมียม Nd^{3+} ในแก้ว (the energy level diagram of Nd^{3+} ions in glass) [15]

ตารางที่ 2.1 ค่าอิมีทชันครอสเซกชัน (Emission Cross Section) ของสารเลเซอร์นีโอดีเมียม ที่
 ปลดปล่อยพลังงานระหว่างระดับพลังงาน ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ [17]

Transition	Wavelength (nm)	Emission cross section (10^{-22} cm^2)
(A)→(1)	1060	100.1
(A)→(2)	1070	43.9
(A)→(3)	1082	7.6
(A)→(4)	1091	15.2
(A)→(5)	1094	1.0
(A)→(6)	1100	29.7
(B)→(1)	1044	48.3
(B)→(2)	1053	96.0
(B)→(3)	1065	1.0
(B)→(4)	1074	27.6
(B)→(5)	1078	12.0
(B)→(6)	1083	35.6

ส่วนผสมของชนิดก๊าซที่แตกต่างกัน อาทิ สลิเกตก๊าซ หรือ ฟอสเฟตก๊าซทำให้เกิดเลเซอร์ที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน รวมทั้งค่าพวอเรสเช่นลายวิท และอัตราส่วนความเป็นอินโซโมจีเนียสและโซโมจีเนียสที่แตกต่างกันด้วย ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของสารนีโอดีเมียมเลเซอร์ที่มีการโคปด้วยก๊าซ สารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซมีค่าพวอเรสเช่นเลนลายวิทที่กว้างถึง 28.2 นาโนเมตร และค่าความกว้างของเลเซอร์ลายวิทที่ 8-10 นาโนเมตร ในกรณีของเลเซอร์แบบต่อเนื่อง cw ส่วนสารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซมีค่าพวอเรสเช่นเลนลายวิทที่ 19.6 นาโนเมตร และกรณีเลเซอร์แบบต่อเนื่องให้ค่าลายวิทที่บริเวณที่ใกล้กับค่าแกนพิก ผลของข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นโดยชัดเจนว่าสารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซ มีความเป็นสารชนิดนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซมีเลเซอร์สเปคตรัมที่แคบในบริเวณที่ใกล้กับแกนพิก เป็นการระบุว่าสารเลเซอร์ชนิดนี้มีความเป็นโซโมจีเนียสอยู่มาก รวมทั้งมีค่าอิมิตชันครอสเซกชันที่มากกว่าสารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซ จึงสามารถระบุได้ว่าสารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซต้องการพลังงานที่น้อยกว่าในการเกิดเลเซอร์กว่าสารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซ

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของนีโอดีเมียมฟอสเฟตแก้วเลเซอร์และนีโอดีเมียมซิลิเกตแก้วเลเซอร์ [2.9].

Glass Type	LG760	LG680
Neodymium Laser Properties	Phosphate glass	Silicate Glass
Peak Emission Wavelength (nm)	1054	1060
Fluorescence Linewidth (nm)	19.6	28.2
Emission Cross Section (10^{-20} cm^2)	4.50	2.54
Peak Absorption Wavelength (nm)	801.5	807.5
Radiative Lifetime (μs)	300	360
Refractive index n	1.5080	1.5600
Heat Conductivity (K) W/(m.K)	0.60	1.35
Thermal Index Gradient ($\frac{dn}{dT}$) (1/K)	-6.8×10^{-6}	2.9×10^{-6}
Linear Thermal Expansion Coefficient (β) (1/K)	12.5×10^{-6}	9.3×10^{-6}
Nonlinear Refractive Index (cm^2/W)	2.83×10^{-16}	4.3×10^{-16}

บทที่ 3.

ทฤษฎีการเกิดไฮบริดเลเซอร์

การเกิดไฮบริดเลเซอร์เกิดจากการทำปฏิริยากันของเกนทั้งหมดจากสารเลเซอร์ที่มีอยู่ในระบบ เกนของไฮบริดเลเซอร์เป็นผลรวมของเกนเลเซอร์แต่ละชนิด ประกอบกับการถ่ายเทพลังงานที่สะสมอยู่ของสารเลเซอร์ภายใต้โมดที่เกิดขึ้นภายในเลเซอร์ควิตี้ โมดที่ได้รับเกนและมีพลังงานสะสมมากก็จะมีสัญญาณเลเซอร์ที่สูง การทำปฏิริยากันของเกนจากสารเลเซอร์แต่ละชนิดใช้โมเดลที่สร้างขึ้นโดย Yan [5] ทฤษฎีและวิธีการเกิดของไฮบริดเลเซอร์สามารถแสดงรายละเอียดได้ต่อไป

3.1 ไฮบริดเลเซอร์โมเดล (Hybrid Laser Model)

การทำความเข้าใจกับพฤติกรรมของไฮบริดเลเซอร์สามารถกระทำได้ผ่านรูปเกนในเชิงไม่อิมิตัวและอิมิตัว จากทฤษฎีของ Yan ได้ระบุว่าเกนของไฮบริดเลเซอร์สามารถหาได้ [5] โดยการสมมุติว่าเวลาการตอบสนองของอะตอมเร็วมาก ซึ่งสามารถตอบสนองต่อการออสซิลเลชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือสัญญาณเลเซอร์ได้ ดังนั้นในทางคำนวณเชิงตัวเลขค่าเวลาการตอบสนองของอะตอมและโฟลาไรเซชันนั้นสั้นกว่าเวลาของโฟตอนภายในควิตี้ (Cavity photon lifetime) และขนาดความกว้างพัลส์ (Pulse duration) เป็นเหตุให้สามารถที่จะสามารถใช้ป๊อปปูเลชันอินเวอร์ชัน (Population inversion) แทนลักษณะของเกน และเกนรวมของไฮบริดเลเซอร์นั้นหาได้จากผลรวมของเกนแต่ละสารเลเซอร์รวมกัน

เกนโคออปฟิเชียน (Gain coefficient) ของสารเลเซอร์แบบอินโฮโมจีนียัส (Partially inhomogeneously broadened laser medium) a ที่ความถี่ ν สามารถแสดงได้ดังนี้ [5]

$$\gamma_a(\nu_i) = \sum_{\nu_j} N_a(\nu_{jo}) \sigma_a(\nu_{jo}, \nu_i) \quad (3.1)$$

สารเลเซอร์ a ประกอบไปด้วยอะตอมแพ็คเกจหลายอันประกอบกัน (Atom packets) ξ ซึ่งแต่ละอะตอมแพ็คเกจมีลักษณะเป็นโฮโมจีนียัส (Homogeneously broadened) อะตอมมีค่าป๊อปปูเลชันอินเวอร์ชันเป็น $N_a(\nu_j)$ และมีค่าโฮโมจีนียัสสติมูเลตเต็ดทออสเซชันเป็น (Homogeneous stimulated emission cross section) σ_a ส่วนค่าอินโฮโมจีนียัสสติมูเลตเต็ดทออสเซชัน (Inhomogeneous stimulated emission cross section) ของสารเลเซอร์ a สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\sigma_a(v_\xi, v_i) = \sigma_{a0} \bar{g}_a(v_\xi, v_i) \quad (3.2)$$

ค่า σ_{a0} คือค่าสูงสุดของไฮโมจีเนียสสติมูเลชันที่เค็คอสเซทชัน ส่วน \bar{g}_a แทนค่า Lorentzian lineshape functions ซึ่งมีค่ามากที่สุดเป็นหนึ่งในส่วน $\Delta v_{a,h}$ แทนค่าไฮโมจีเนียสลายวิท มีค่า Effective stimulated emission cross section ที่เป็นผลรวมของอะตอมแพ็คเกตแต่ละอันสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\sigma_{a,th}(v_i) = \sigma_{a0} \int_0^\infty p(v_{\xi a}) \bar{g}_a(v_{\xi a}, v_i) dv_{\xi}$$

$p(v_\xi)$ เป็นการแทนการกระจายแบบ Gaussian ที่มีค่าเซ็นเตอร์ที่ความถี่ ν_a โดยมีค่าลายวิท $\nu_{a,th}$.

เลเซอร์เริ่มต้นเกินจากสัญญาณรบกวนหรือ Noise photons หลังจากนั้นโฟตอนดังกล่าวเกิดการกระทำกับ cavity photons และอะตอมทำให้เกิดการสร้างสัญญาณโฟตอนอย่างมากภายในเลเซอร์ควิตี้ การสร้างเกิดขึ้นของโฟตอนย่อมหมายถึงการลดปริมาณของอะตอมที่ระดับพลังงานที่อยู่ระดับบน (upper level) และการเพิ่มขึ้นของอะตอมที่ระดับพลังงานที่อยู่ระดับล่าง (Lower Level) หรือเข้าใจอีกทางหนึ่งว่าการลดลงของเกิน เมื่อเลเซอร์เกินได้ลดลงจนมีค่าเท่ากับ loss ของระบบ ระบบเลเซอร์จะเข้าไปสู่สมดุล (Steady state) ให้ค่าพลังงานและเกินที่คงที่ไม่ขึ้นกับเวลา เราเรียกระดับของเลเซอร์เกินนี้ว่า threshold level สำหรับสารเลเซอร์แบบ four-level การลดลงของอะตอมที่อยู่ระดับล่างเกิดขึ้นรวดเร็วมาก ดังนั้นสามารถแทนค่าค่าจำนวนอะตอมที่ทำให้เกิดโฟตอนด้วยจำนวนอะตอมที่อยู่ระดับบน $N \approx N_2$ จำนวนอะตอมที่อยู่ระดับบนคือ N_2 สำหรับสารเลเซอร์แบบไม่ธรรมดาประกอบด้วยสารเลเซอร์อินไฮโมจีเนียส a และ b เกนของสารเลเซอร์ไม่ธรรมดาสามารถแทนได้ด้วย rate equations [5]:

$$\frac{dI(v_i)}{dt} = -\frac{\delta}{T_n} I(v_i) + \frac{1}{T_n} [\gamma_a(v_i) p_{m,a} + \gamma_b(v_i) p_{m,b}] [I(v_i) + I_{sp}] \quad (3.3.a)$$

$$\frac{dN_a(v_{\xi a})}{dt} = \frac{N_{a0}(v_{\xi a})}{\tau_a} - N_a(v_{\xi a}) 2^\otimes \sum_{v_i} \sigma_a(v_{\xi a}, v_i) \frac{I(v_i)}{h\nu_i} - \frac{N_a(v_{\xi a})}{\tau_a} \quad (3.3.b)$$

$$\frac{dN_b(v_{\xi b})}{dt} = \frac{N_{b0}(v_{\xi b})}{\tau_b} - N_b(v_{\xi b}) 2^\otimes \sum_{v_i} \sigma_b(v_{\xi b}, v_i) \frac{I(v_i)}{h\nu_i} - \frac{N_b(v_{\xi b})}{\tau_b} \quad (3.3.c)$$

T_r คือ cavity round-trip transit time δ คือ round-trip cavity loss $p_{m,a}$ และ $p_{m,b}$ คือ ระยะทางไปและกลับ (round-trip lengths) ของสารเลเซอร์ a และ b ตามลำดับ สัมการ (3.3.a)

อธิบายถึงผลกระทบของการลดลงของ $I(\nu_i)$ เนื่องจาก cavity loss และการเพิ่มขึ้นของ $I(\nu_i)$ เนื่องจากเกนของ สารเลเซอร์ a และ b ส่วนแรกของส่วนขวามือของสัมการ (2.3.b) และ (2.3.c) เป็นผลมาจากการ pumping ซึ่งเป็นผลให้เกิด unsaturated population inversion $N_{a0}(\nu_{\xi a})$ โดยมี Gaussian distribution เป็น $N_{b0}(\nu_{\xi b})$ τ_a และ τ_b แทนค่า upper state lifetimes ของ สารเลเซอร์ a และ b ตามลำดับ ส่วนที่สองของสัมการ เป็นผลมาจาก stimulated transition ค่า 2^{\otimes} เท่ากับ 1 สำหรับ ring resonator และ 2 สำหรับ standing wave resonator เนื่องจากส่วนเทอมที่สามเป็นผลมาจาก atomic relaxation ในการคำนวณเชิงตัวเลขสมมติให้ τ_a และ τ_b มีค่าน้อยกว่า T_r มาก เพื่อให้ระบบเข้าสู่สถานะ steady-state โดยมีค่าเกนเท่ากับ loss และสามารถทำให้เขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$\sum_{\nu_i} \frac{r_{a0}(\nu_{\xi a}, \nu_i)}{1 + S_a(\nu_{\xi a})} + \sum_{\nu_i} \frac{r_{b0}(\nu_{\xi b}, \nu_i)}{1 + S_b(\nu_{\xi b})} = 1, \quad (3.4)$$

โดยที่ r_{a0} และ r_{b0} เป็นค่าเกนแบบไม่อิ่มตัวของของสารเลเซอร์ทั้งสอง

$$r_{a0}(\nu_{\xi a}, \nu_i) = \frac{N_{a0}(\nu_{\xi a}) \sigma_a(\nu_{\xi a}, \nu_i) p_{m,a}}{\delta} \quad (3.5.a)$$

$$r_{b0}(\nu_{\xi b}, \nu_i) = \frac{N_{b0}(\nu_{\xi b}) \sigma_b(\nu_{\xi b}, \nu_i) p_{m,b}}{\delta} \quad (3.5.b)$$

S_a และ S_b แทนค่า saturation parameters:

$$S_a(\nu_{\xi}) = 2^{\otimes} \tau_a \sum_{\nu_i} \sigma_a(\nu_{\xi a}, \nu_i) \frac{I(\nu_i)}{h\nu_i}$$

$$= 2^{\otimes} \sum_{\nu_i} \bar{g}_a(\nu_{\xi a}, \nu_i) \frac{I(\nu_i)}{I_{s,a}} \quad (3.6.a)$$

$$S_b = 2^{\otimes} \tau_b \sum_{\nu_i} \sigma_b(\nu_{\xi b}, \nu_i) \frac{I(\nu_i)}{h\nu_i}$$

$$= 2^{\otimes} \sum_{\nu_i} \bar{g}_b(\nu_{\xi b}, \nu_i) \frac{I(\nu_i)}{I_{s,b}}, \quad (3.6.b)$$

ส่วน $I_{s,a}$ และ $I_{s,b}$ เป็นค่า homogeneous saturation intensities ของสารเลเซอร์ทั้งสอง

$$I_{s,a} = \frac{h\nu_i}{\sigma_{a0}\tau_a} \quad (3.7.a)$$

$$I_{s,b} = \frac{h\nu_i}{\sigma_{b0}\tau_b} \quad (3.7.b)$$

บทที่ 4.

การประเมิลผลด้วยคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์การประเมิลผลด้วยคอมพิวเตอร์กระทำโดยใช้สมการและทฤษฎีของ Yan [5] เริ่มจากการประมวลผลลักษณะแกนจากสารเลเซอร์ชนิดเดียว และใช้ลักษณะแกนนั้นทำการเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้เทียบกับพรีรันนิ่งของเลเซอร์ชนิดนั้นๆ จากนั้นทำการประมวลผลลักษณะแกนของไฮบริดเลเซอร์ที่ประกอบด้วยสารเลเซอร์ทั้งสองชนิดดังกล่าวค่าตัวแปรของสารเลเซอร์ที่ใช้กับไฮบริดเลเซอร์ และผลของการวิจัยจะนำเสนอดังต่อไปนี้

4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ (Parameters Used in Numerical Simulation)

ใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณแกนของสารนีโอดีเมียมฟอสเฟตแก๊ส และนีโอดีเมียมสลิเกตแก๊ส ใช้การเกิดเลเซอร์ที่ระดับพลังงาน ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ [16-17] เนื่องจากผลของ Stark Splitting ทำให้เกิดสองระดับพลังงานของ ${}^4F_{3/2}$ และหกระดับของพลังงาน ${}^4I_{11/2}$ ดังนั้นในการเกิดเลเซอร์ของสารเลเซอร์สามารถเกิดได้จาก 12 Transition แต่แต่ละ transition มีค่า stimulated emission cross section ของตัวเอง [17] สำหรับสารเลเซอร์แบบอินโซโมจีเนียส กำหนดให้มีค่า stimulated emission cross section ตาม [17] ค่า transition ที่ให้ค่า stimulated emission cross section มากที่สุดเป็นตัวกำหนดค่าเกณฑ์ของแกนแบบไม่อิมตัว สารเลเซอร์แบบอินโซโมจีเนียสมีค่า saturation intensities $I_{s,a}$ ที่แตกต่างกัน 12 ค่า รวมทั้งกำหนดให้สารเลเซอร์ทั้งสองมีค่า $I_{s,a} \text{ (at peak)} = I_{s,b} = I_s$ นอกจากนี้ยังสมมุติว่าสารเลเซอร์ทั้งสองมีค่า lifetime ที่เท่ากัน

ในการคำนวณใช้ 30 atom packets โดยแต่ละ packet มีค่า frequency spacing เป็น 20 GHz ซึ่งเท่ากับ axial mode spacing แต่ละอะตอม packet มีค่าอินโซโมจีเนียส linewidth $\Delta\nu_h$ ซึ่งรูปแกนที่สอดคล้องกับสเปคตรัม ที่ได้จากการทดลอง [19-20] สารนีโอดีเมียมฟอสเฟตแก๊สมีค่า $\frac{\Delta\nu_{th}}{\Delta\nu_h} = 2.45$

และ $\Delta\nu_h = 36 \text{ cm}^{-1}$ และนีโอดีเมียมสลิเกตแก๊ส $\frac{\Delta\nu_{th}}{\Delta\nu_h} = 4.5$ และ $\Delta\nu_h = 26 \text{ cm}^{-1}$ [18], [21]

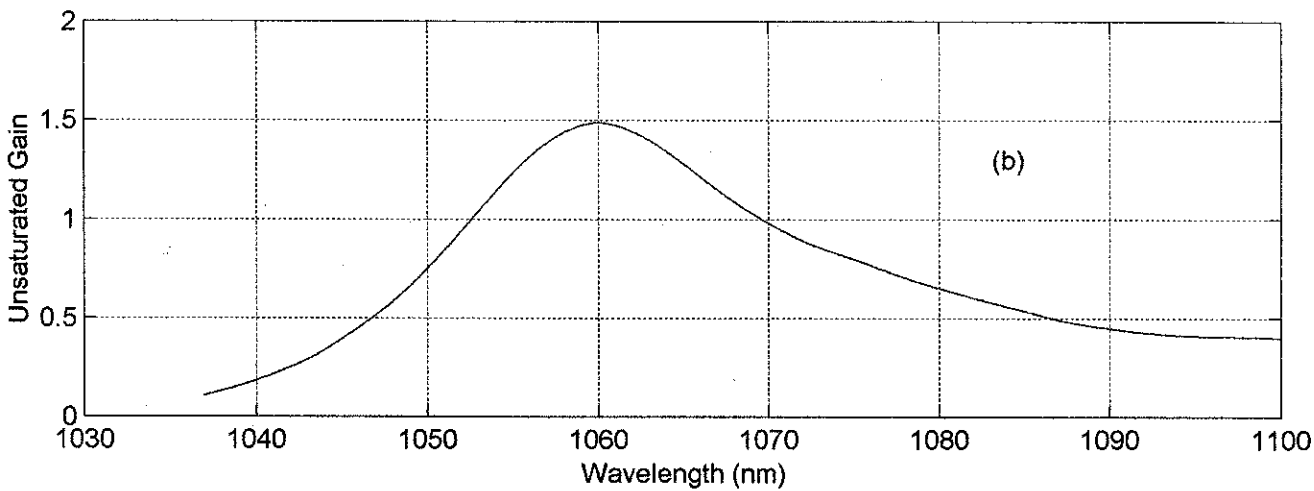
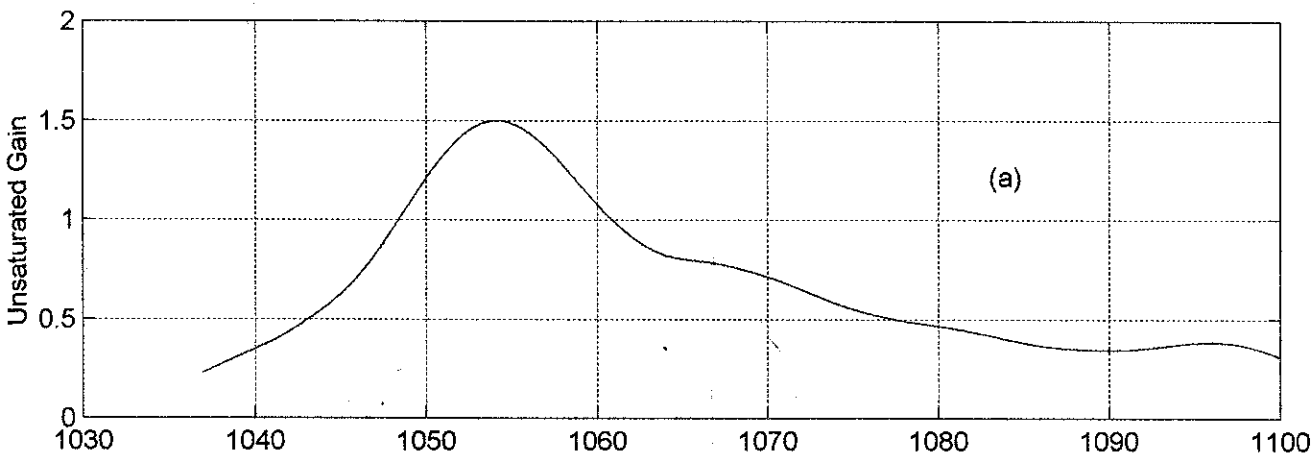
สำหรับแกนไม่อิมตัวเราทำการคำนวณที่ 100 round trips

4.2 ผลการประเมินผลลักษณะเกณฑ์ไม่อ้อมตัวด้วยคอมพิวเตอร์ (Numerical Simulation Results)

การประมวลผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของรูปแบบลักษณะเกณฑ์ไม่อ้อมตัว ของระบบ เลเซอร์ที่ประกอบด้วยสารเลเซอร์ที่มีความเป็นอิน โฮโมจีเนียสสูงและต่ำในระบบเลเซอร์เดียวกัน สามารถศึกษาแบบสัญญาณเกณฑ์ของสารเลเซอร์แต่ละชนิด และสารเลเซอร์สองชนิดในระบบ เลเซอร์เดียวกันและมีการทำปฏิกริยาต่อกัน โดยใช้สัญญาณลักษณะ So สำหรับเกณฑ์ไม่อ้อมตัวของสาร เลเซอร์นี้โอดีเมียมสลิเกตก๊าซ ส่วนเกณฑ์ไม่อ้อมตัวของสารเลเซอร์นี้โอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ แทน โดย Po การประมวลผลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์กระทำทำให้พลังงานที่เหนือกว่าระดับทรศโฮว์ (Threshold) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า อินเวอร์ชันเรโซ (Inversion ratio) ที่ระดับอินเวอร์ชันเรโซมีค่า เท่ากับ 1 หมายถึงที่ระดับทรศโฮว์ ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำให้เกิดเลเซอร์ได้

เราให้พลังงานเหนือจากระดับทรศโฮว์เป็น 1.50 เท่าหรือ ที่อินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียม ฟอสเฟตก๊าซ rPo เท่ากับ 1.50 ตามรูปที่ 4.1 (a) จะเห็นได้ว่าสารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ ให้ ค่าเกณฑ์ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1054 นาโนเมตร และมีค่าลายวิทโดยประมาณ 15 นาโนเมตร ส่วนสารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซ rSo มีค่า 1.50 ให้ค่าเกณฑ์ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1060 และมีค่าลายวิทโดยประมาณ 20 นาโนเมตร ตามรูปที่ 4.1 (b) ค่าพิคเกณฑ์ทั้งสองที่ได้สอดคล้องกับ ข้อมูลมาตรฐานในตารางที่ 2.2 และค่าเกณฑ์ของนีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซมีค่ากว้างกว่าค่าเกณฑ์ ลายวิทของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ อย่างเห็นได้ชัด ผลของค่าความยาวคลื่นและขนาดของเกณฑ์ลายวิท เป็นการระบุว่าค่าเบื้องต้นของการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์มีค่าถูกต้อง โดยปกติสัญญาณเลเซอร์ที่ เกิดขึ้นมีค่าลายวิทน้อยกว่าค่าฟลูออเรสเซนส์ลายวิท (Fluorescence linewidth) เนื่องจากผลของเกณฑ์ ขั้วทรศขั้ว (gain subtraction) สามารถ อธิบายได้ว่าเกณฑ์ภายใต้เลเซอร์โหมดที่มีค่าเกณฑ์มากกว่า จะ ทำการดึงเกณฑ์จากโหมดที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้โหมดที่ถูกดึงเกณฑ์ออกไปมีค่าเกณฑ์น้อยลงและไม่สามารถเกิด เป็นเลเซอร์ภายใต้โหมดนั้นได้ เป็นผลให้เลเซอร์ลายวิทมีค่าน้อยกว่าค่าฟลูออเรสเซนส์ลายวิท ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าเกณฑ์ลายวิทที่ได้จากการคำนวณผลด้วยคอมพิวเตอร์ให้ค่าที่สามารถนำมาใช้ ในการคำนวณการกระทำของเกณฑ์สองชนิดต่อไปได้

เนื่องจากสารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซมีความเป็นอิน โฮโมจีเนียสสูงกว่าจึงมีค่าเกณฑ์ลาย วิทที่กว้างกว่า และผลของการกระทำระหว่างสารเลเซอร์ภายในระบบเลเซอร์เดียวกัน โดยการให้ rPo ที่ 1.50 และ rSo ที่ 1.50 จะพบว่าเกณฑ์ไม่อ้อมตัวมีขนาดที่กว้างขึ้น ซึ่งแสดงถึงความเป็นอิน โฮโม จีเนียสที่สูงกว่าเดิมมาก เมื่อมีการเปรียบเทียบกันเกณฑ์ไม่อ้อมตัวของสารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอส เฟตก๊าซหรือสารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซ ซึ่งการเพิ่มขนาดของเกณฑ์ลายวิทเป็นสิ่งที่มิใช่ประโยชน์ สำหรับการสร้างระบบเลเซอร์ที่มีค่าพัลส์สั้นมากๆ

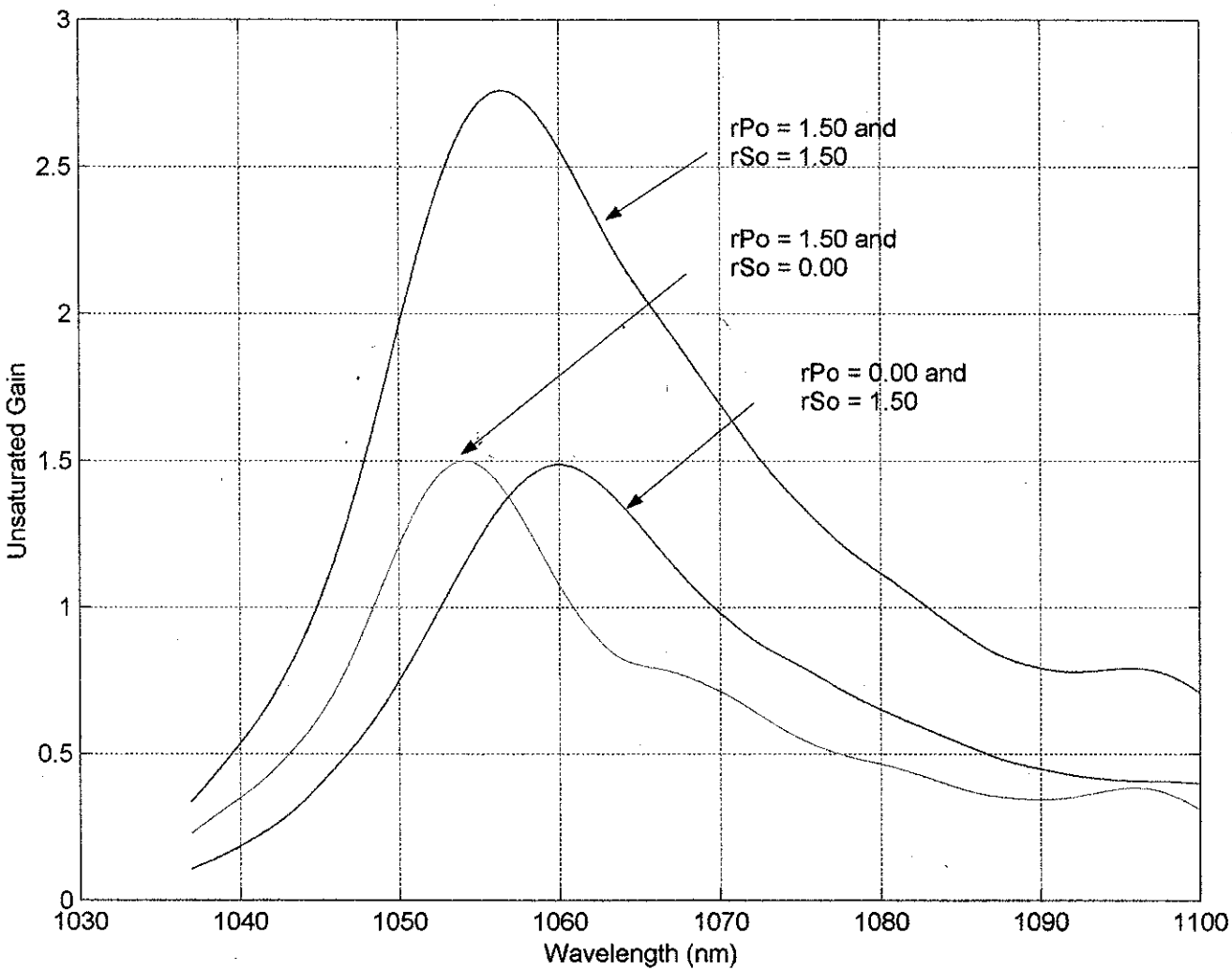


รูปที่ 4.1 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อิมิตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ (a) ค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมฟอตเฟดก๊าส (rPo) ที่ 1.50 และ (b) ค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมมลิเทคก๊าส (rSo) ที่ 1.50

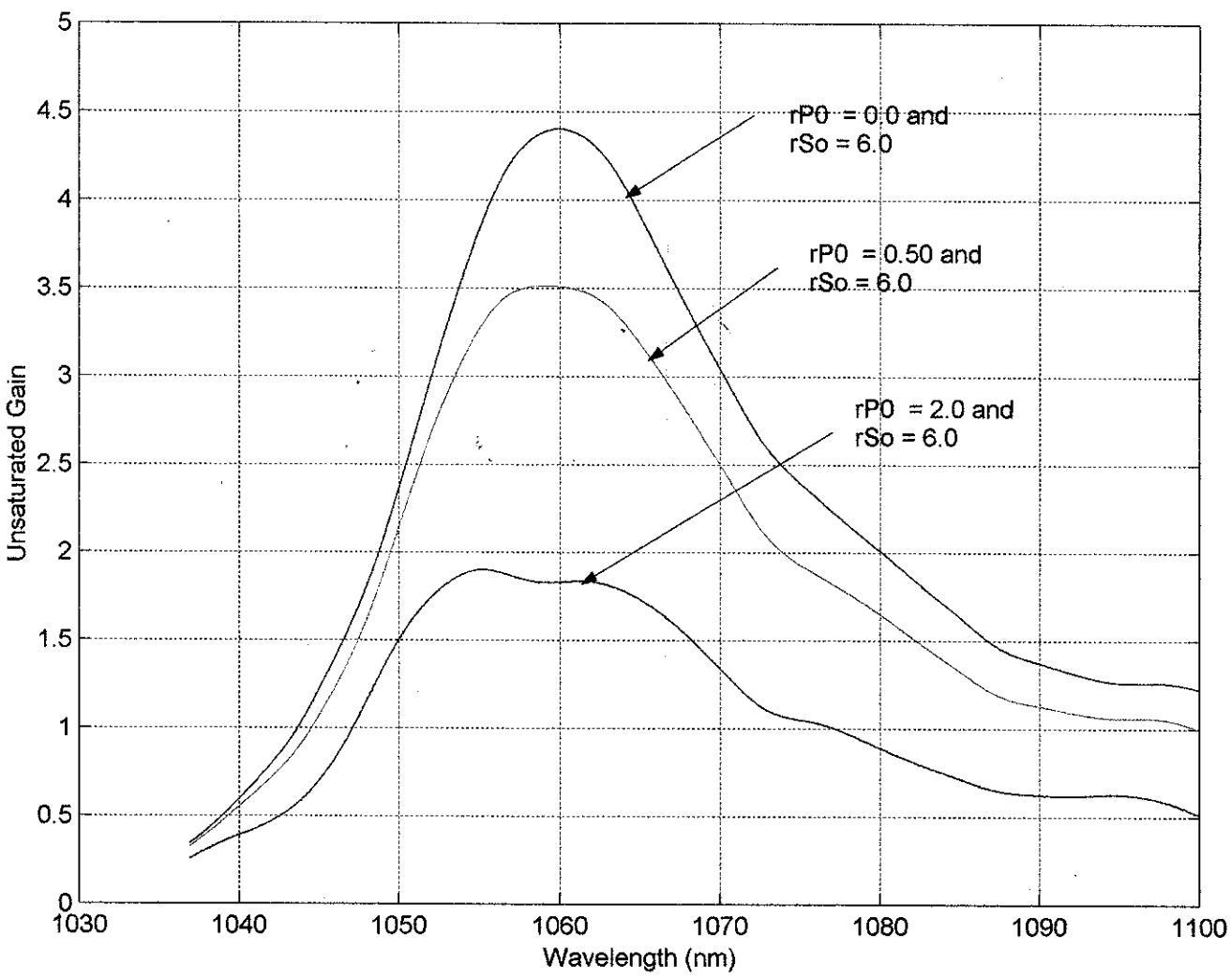
สิ่งที่เป็นที่น่าสังเกตอันดับต่อไปก็คือบริเวณที่ใกล้กับแกนพีคของนีโอดีเมียมฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 1054 นาโนเมตร และบริเวณที่ใกล้กับแกนพีคของนีโอดีเมียมสลิเกตที่ 1060 นาโนเมตร. นีโอดีเมียมฟอสเฟตมีการสร้างแกนที่มีค่ามากกว่า และรวดเร็วกว่า ถึงแม้ว่าสารเลเซอร์ทั้งสองชนิดมีค่าแกนพีคเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่านีโอดีเมียมฟอสเฟตมีความเป็นสารโฮโมจีเนียสมากกว่า ดังนั้นแกนพีคจะมีการสร้างที่รวดเร็วและแข็งแรงกว่า เพราะได้ดึงพลังงานจากกลุ่มอะตอมของโมดที่ใกล้เคียงมาใช้ อีกทั้งจำนวนโมดของแกนของโฮโมจีเนียสมีน้อยกว่า ดังนั้นการแข่งขันระหว่างโมดจึงน้อย เลเซอร์โมดที่แข็งแรงก็จะสามารถเติบโตได้ง่ายและรวดเร็วกว่า ส่วนเลเซอร์โมดที่มีค่าแกนเริ่มต้นที่ต่ำกว่าก็จะถูกกลืนและทำลายได้ง่ายกว่า [5-11] จึงจะเห็นได้ว่าแกนพีคที่ใกล้กับนีโอดีเมียมฟอสเฟต (มีความเป็นโฮโมจีเนียสสูงกว่า) มีค่าสูงกว่าแกนพีคที่ใกล้กับนีโอดีเมียมสลิเกตที่ 1060 นาโนเมตร

ในระบบเลเซอร์แบบพิเศษหรือไฮบริดที่ประกอบด้วยสารเลเซอร์สองชนิดนั้น รูปสัญญาณแกมมามีลักษณะที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสัญญาณเลเซอร์สองชนิด ให้พลังงานกับสารเลเซอร์ทั้งสองชนิดพร้อมกันที่ r_{So} เท่ากับ 1.50 และ r_{Po} เท่ากับ 1.50 ดังรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าแกนพีคของเลเซอร์แบบพิเศษมีค่าสูงกว่าแกนที่ได้จากสารเลเซอร์แต่ละชนิด โดยแกนพีคใหม่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 1058 นาโนเมตร และแกนลายวิหมีค่ากว้างกว่าเล็กน้อย ผลของแกนแบบไม่อิมพัลส์ของระบบไฮบริดเลเซอร์แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่าเกิดขึ้นจากการรวมกันของค่าแกนจากสารเลเซอร์ทั้งสองภายใต้เลเซอร์โมดเดียวกัน อาทิ ที่ความยาวคลื่น 1060 นาโนเมตร สารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตมีค่าแกนโดยประมาณ 1.50 ส่วนนีโอดีเมียมฟอสเฟต 1.07 และผลรวมของค่าแกนทั้งสองมีค่า 2.57 ซึ่งใกล้เคียงกับสารไฮบริดเลเซอร์ที่มีค่าแกน 2.56 ส่วนสาเหตุที่ค่าแกนมีค่าใกล้เคียงกันแต่ไม่ได้มีค่าเท่ากันอาจเกิดจากการถ่ายโอนของแกนระหว่างสารเลเซอร์ทั้งสอง และผลของปรากฏการณ์หักล้างของแกน ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะถูกนำเสนอชัดเจนขึ้นดังต่อไปนี้

ในกรณีที่สารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตได้รับค่าอินเวอร์ชันเรโซที่ 6.00 ส่วน สารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟต r_{Po} เท่ากับ ศูนย์ แกนแบบไม่อิมพัลส์ของสารเลเซอร์ไฮบริดให้ค่าเช่นเดียวกับการให้พลังงานแก่สารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตเพียงอย่างเดียว ดังแสดงที่รูปที่ 4.3 ค่าพีคแกนลายวิหที่ความยาวคลื่น 1060 นาโนเมตรมีค่าโดยประมาณ 4.4 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 6.0 มาก สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อแกนมีค่ามากขึ้น แกนจะทำการลดลงเพื่อเข้าสู่ภาวะอิมพัลส์ ดังนั้นแกนจะทำการปรับตัวลดลงดังแสดงดังรูปที่กล่าวไปแล้ว เมื่อทำการให้พลังงานแก่สารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟต r_{Po} ที่ 0.50 ปรากฏว่าแกนของเลเซอร์แบบพิเศษมีการขยายตัวของแกนลายวิหอย่างเห็นได้ชัดเจน นอกจากนี้ค่าแกนบริเวณพีคมีค่าเรียบขึ้น กว้างขึ้น สถานะของลักษณะแกนรูปนี้เป็นที่ต้องการของการทำอัลตราชอร์ตเลเซอร์ และแสดงให้เห็นว่าลักษณะแกนนี้ได้รับการปรับปรุงลักษณะของแกน



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อิ่มตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ โดยการทำการให้ค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ (r_{Po}) ที่ 1.50 และ อินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซ (r_{So}) ที่ 1.50



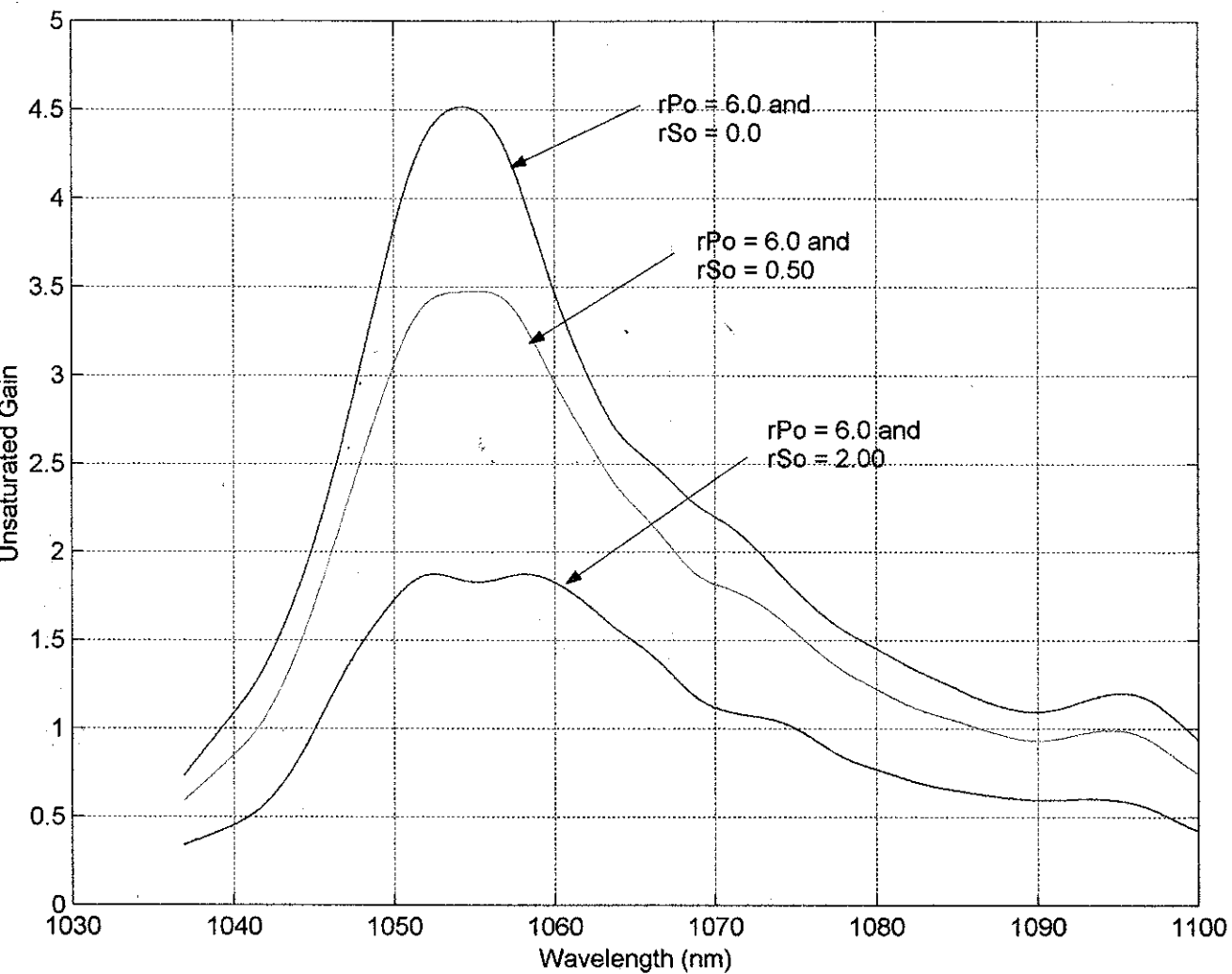
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อิ่มตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ โดยการทำการให้ค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซ (rSo) คงเดิมที่ 6.00 และเปลี่ยนค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ (rPo) ที่ 0.0, 0.50 , และ 2.00

ที่ได้จากสารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าแกนของเลเซอร์แบบพิเศษก็ควรจะไม่เป็นโฮโมจีเนียสสูงตามไปด้วย

เมื่อ rSo ที่ 6.00 และ rPo ที่ 0.50 ดังได้แสดงดังรูปที่ 4.3 ให้ผลการประเมินผลจากคอมพิวเตอร์ให้ข้อนำสังเกตอีกประการก็คือแกนพีคของระบบเลเซอร์ไฮบริดที่ไม่ได้เกิดที่ความยาวคลื่นเดิมที่แกนพีคของนีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซ ทั้งที่แกนของนีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซได้รับค่า rSo ที่สูง แต่จะเลื่อนไปยังแกนพีคของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ ซึ่งแกนพีคใหม่นี้เกิดที่ 1058 นาโนเมตร ทั้งนี้สามารถอธิบายได้โดยใช้หลักการรวมกันของแกนสองชนิดในระบบเลเซอร์เดียวกัน และการกระทำกันระหว่างแกนสองชนิดที่มีการดึงพลังงานภายใต้กลุ่มอะตอมที่มีแกนน้อยกว่าไปยังแกนที่มีค่ามากกว่า [5-6], [9-10] ลักษณะแกนใหม่นี้มีแกนพีคที่เรียบเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งลักษณะแกนลักษณะนี้ถือว่าเป็นเป็นลักษณะแกนที่เหมาะสมในการสร้างระบบเลเซอร์ที่มีค่าดูเลชันพัลส์แคบมากๆ เพราะแกนพีคที่เรียบเป็นบริเวณกว้างเป็นการส่งเพิ่มให้มีจำนวน โมดของเลเซอร์เกิด ได้พร้อมๆกันหลาย โมด โดยที่โมดใดโมดหนึ่งไม่ได้มีความได้เปรียบกว่ากัน จากนั้นแต่ละ โมดทำการสร้าง โมดข้างๆไปพร้อมๆกัน เมื่อจำนวน โมดเพิ่มมากขึ้น เลเซอร์ก็จะมีความเป็นพัลส์ที่สั้นขึ้นตามลำดับ

เมื่อมีการเพิ่มค่าพลังงานที่ให้แก่นีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ ที่อินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ rPo ที่ 2.0 ดังแสดงที่รูปที่ 4.3 ทำให้เกิดพีคแกนใหม่ที่ 1054.5 นาโนเมตร ลักษณะแกนมีการขยายตัวที่มากขึ้นแต่ขณะเดียวกัน บริเวณที่ใกล้กับแกนพีคเกิดการไม่เรียบ เสมือนมีสองแกนพีคที่บริเวณที่ใกล้กับ 1054.5 นาโนเมตร ลักษณะแกนนี้เป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ในการสร้างระบบเลเซอร์ที่ต้องการพัลส์แคบๆ กล่าวคือกล่าวคือเมื่อเลเซอร์มีจำนวน โมดมีการแข่งขันกันสูง โมดที่ได้รับพลังงานจากแกนมากที่สุดจะให้สัญญาณเลเซอร์ที่แรงอีกทั้งยังไปดึงพลังงานของ โมดเลเซอร์ข้างเคียงที่มีพลังงานที่ต่ำกว่า ดังนั้น โมดที่มีค่าแกนสูงจะมีความเข้มแข็งที่สุด ส่วนโมดใกล้เคียงที่มีค่าแกนที่ต่ำกว่าจะมีความอ่อนแอลงไปจนในที่สุดเมื่อเลเซอร์เข้าถึงสถานะที่อยู่ตัว เลเซอร์จะเหลือแค่ โมดที่มีค่าแกนเริ่มต้นสูงเท่านั้น ทำให้เกิดเลเซอร์ที่มีจำนวน โมดน้อย ซึ่งก็หมายความว่าเกิดพัลส์ที่กว้าง

ในกรณีเริ่มจากการให้กับนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ rPo ที่ 6.00 ส่วนเปลี่ยนค่าอินเวอร์ชันเรโซที่สารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซ จาก 0.0, 0.50 และ 2.0 โดยแสดงดังรูปที่ 4.4 ที่ค่า rSo เป็นศูนย์ ลักษณะแกนของไฮบริดเลเซอร์มีค่าเช่นเดียวกับสารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซดังแสดงในรูป 4.1 เพียงแต่มีค่าแกนไม่อ้อมตัวที่มากกว่า เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้นค่าแกนพีคเกิดขึ้นที่ 1054 นาโนเมตรมีค่า 4.5 ซึ่งน้อยกว่า 6.00 เป็นผลจากการปรับเปลี่ยนของแกน ในการพยายามเข้าสู่สภาวะอ้อมตัว และเมื่อทำให้พลังงานกับสารเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตก๊าซที่ rSo มีค่า 0.50 ลักษณะแกนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ค่าแกนพีคเกิดขึ้นที่ 1054.5 นาโนเมตร ลักษณะแกนมีค่า



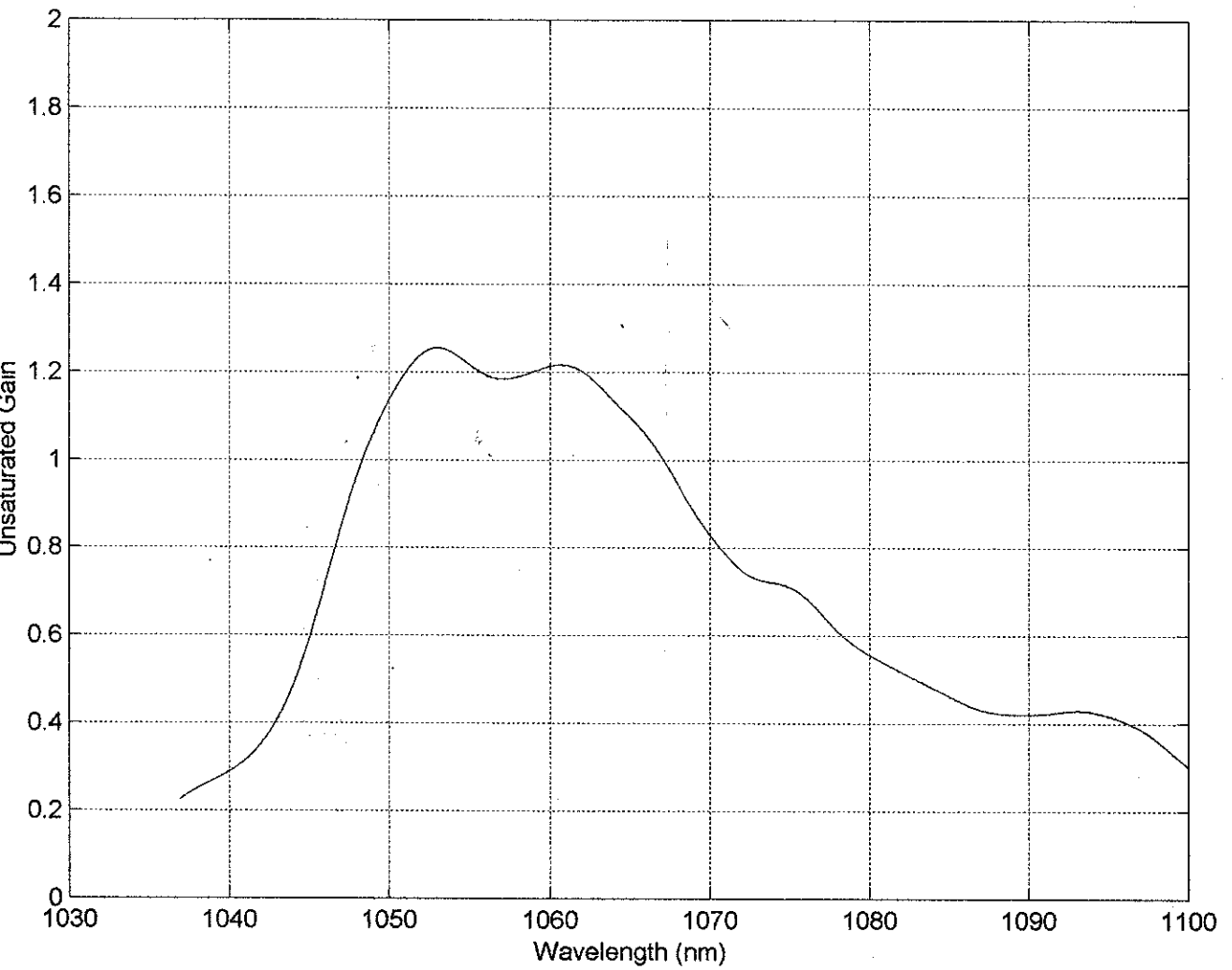
รูปที่ 4.4 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อิ่มตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์ โดยการทำการให้อินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ (rPo) คงเดิมที่ 6.00 และเปลี่ยนค่าอินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซ (rSo) ที่ 0.0, 0.50 , และ 2.00 และ

เกณฑ์การวัดที่กว้างขึ้น ผลของลักษณะเกณฑ์ใหม่นี้เป็นผลารวมกันของเกณฑ์ภายใต้เลเซอร์โหมด รวมทั้งการกระทำระหว่างเกณฑ์ของเลเซอร์ที่บริเวณใกล้เคียง ผลการประเมินโดยคอมพิวเตอร์ให้สารเลเซอร์แบบพิเศษมีความเป็นสารแบบอินโซโมจีเนียสมากขึ้น รวมทั้งบริเวณที่ใกล้กับเกณฑ์ ลักษณะเกณฑ์มีความเรียบมากขึ้น รวมทั้งกว้างมากขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า ลักษณะเกณฑ์ของเลเซอร์แบบพิเศษมีการพัฒนาขึ้น

แต่เมื่อมีการเพิ่มพลังงานให้กับสารเลเซอร์นี้ โอดีเมียมลิทเทคก้าสที่ rSo เป็น 2.00

หมายความว่าเกณฑ์ภายใต้ความยาวคลื่น 1060 นาโนเมตรมีค่าพลังงานมากขึ้น จึงเพิ่มการแข่งขันของการแย่งชิงเกณฑ์ของบริเวณใกล้เคียงและเกณฑ์เดิมที่ 1054.5 นาโนเมตร ประกอบกับผลของการรวมกันของเกณฑ์ เกณฑ์ภายใต้เลเซอร์โหมดจึงมีการจัดระเบียบใหม่เป็นผลให้เกิดสองพีคเล็กใหม่ขึ้นที่ 1052 และ 1058 นาโนเมตร รูปแบบเกณฑ์ลักษณะนี้ไม่เป็นที่ต้องการในการสร้างระบบเลเซอร์แบบพัลส์สั้นๆ เพราะการเกิดเกณฑ์ หมายถึงที่โหมดนั้นมีพลังงานมาก การดึงพลังงานจากโหมดที่มีพลังงานน้อยกว่าทำได้ง่าย โหมดที่ถูกดึงพลังงานออกไป มีพลังงานที่น้อยลง การสร้างสัญญาณเลเซอร์ให้เกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องดึงพลังงานจากโหมดที่ใกล้เคียง ดังนั้น โหมดที่มีค่าเกณฑ์สูงจะมีความเข้มแข็งที่สุด ส่วนโหมดใกล้เคียงที่มีค่าเกณฑ์ต่ำกว่าจะมีความอ่อนแอลงไปจนในที่สุดเมื่อเลเซอร์เข้าถึงสถานะที่อยู่ตัว เลเซอร์จะเหลือแต่โหมดที่มีค่าเกณฑ์เริ่มต้นสูงเท่านั้น ดังนั้นจำนวนโหมดที่สามารถเกิดเลเซอร์จึงมีจำนวนที่น้อยกว่าลักษณะเกณฑ์เรียบและกว้าง ประกอบกับการมีเกณฑ์สองเกณฑ์ เป็นการเพิ่มการแข่งขัน การแย่งชิงของเกณฑ์ระหว่างเกณฑ์ การที่ไม่มี (โหมด) ผู้ชนะที่แท้จริง การที่จะทำให้เลเซอร์แบบพิเศษมีค่าพลังงานเพียงพอที่จะเอาชนะการสูญเสีย (loss) และเกิดเลเซอร์ที่พัลส์สั้นๆนี้ทำได้ยาก จึงสามารถทำนายได้ว่าลักษณะเกณฑ์เช่นนี้นำมาซึ่งระบบเลเซอร์ที่ไม่เสถียร

เมื่อมีการให้ค่าพลังงานเพิ่มขึ้นกับสารเลเซอร์ทั้งสอง ด้วยค่าอินเวอร์ชันเรโซที่เท่ากันที่ 6.00 ดังรูปที่ 4.5 พบแต่และโหมดมีการจัดการกระจายของเกณฑ์ใหม่ ภายใต้ผลรวมของเกณฑ์และผลของการถ่ายเทพลังงานของแต่ละโหมด พบว่าลักษณะเกณฑ์แบบไม่เอี่ยมตัวมีค่าพีคเล็กๆสองค่า เท่ากับ 1.25 ที่ 1053 นาโนเมตร และ 1.21 ที่ 1060.5 นาโนเมตร รวมทั้งลักษณะเกณฑ์สูญเสียความเรียบ และให้ลักษณะเกณฑ์เป็นหลุมอย่างเห็นได้ชัด เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าเกณฑ์ใหม่ที่เกิดขึ้นกับบริเวณที่ใกล้เคียงกับเกณฑ์เดิมของนีโอดีเมียมฟอสเฟตที่ 1054 นาโนเมตร และเกณฑ์เดิมของนีโอดีเมียมลิทเทคก้าส ที่ 1060 นาโนเมตร เนื่องจากผลรวมของเกณฑ์จากสารเลเซอร์ทั้งสองชนิด เอื้อประโยชน์ให้เกิดการพัฒนาของสัญญาณเลเซอร์ภายใต้เกณฑ์ใหม่ที่แข็งแรง รวมทั้งเกณฑ์ใหม่ทั้งสองมีความแข็งแรงที่สูงพอๆกัน การแย่งชิงเกณฑ์จากโหมดที่แข็งแรงทำได้ยาก แต่การแย่งชิงเกณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่ากับเลเซอร์โหมดที่มีพลังงานที่น้อยกว่า เป็นผลให้เป็นผลให้เกิดหลุมของลักษณะเกณฑ์ระหว่างที่เกณฑ์ทั้งสอง หรืออีกนัยหนึ่งเกณฑ์ทั้งสอง มีความเป็นเอกเทศจากกันมากขึ้น สามารถทำนายได้ว่าเกณฑ์ลักษณะนี้ จะส่งผลให้เลเซอร์แบบพิเศษมีความไม่เสถียรสูงกว่าเดิม



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงลักษณะเกณฑ์ไม่อิ่มตัวของระบบเลเซอร์แบบพิเศษ หรือไฮบริดเลเซอร์โดยให้อินเวอร์ชันเรโซของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ (rPo) และนีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซ (rSo) คงเดิมที่ 6.00

(สูงกว่า รูปที่ 4.4) ตามไปด้วย นอกจากนี้พบว่าแกนพีคใหม่เกิดขึ้นที่บริเวณที่ความยาวคลื่นที่น้อยกว่า 1054 นาโนเมตร และมากกว่า 1060 นาโนเมตร เพราะบริเวณความยาวคลื่นดังกล่าว มีการลดทอนพลังงานจากโหมดที่ใกล้เคียง (แกนพีค) น้อยกว่า

บทที่ 5.

บทสรุป

ผลการศึกษารูปแบบลักษณะแกนของสารเลเซอร์แต่ละชนิด และไฮบริดเลเซอร์สามารถสรุปผลและวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษารูปแบบลักษณะแกนของไฮบริดเลเซอร์ของนีโอติเมียมฟอตเฟตแก๊สและนีโอติเมียมสลิเกตแก๊ส ที่มีค่าแกนพิกที่แยกกันโดยประมาณเป็นค่า 6 นาโนเมตร โดยแกนพิกนีโอติเมียมฟอตเฟตแก๊สเกิดที่ 1054 นาโนเมตร ส่วนแกนพิกของนีโอติเมียมสลิเกตแก๊สเกิดที่ 1060 นาโนเมตร สารเลเซอร์นีโอติเมียมฟอตเฟตแก๊สให้ลักษณะแกนที่แคบกว่า เนื่องจากมีความเป็นอินโฮโมจีเนียสที่ต่ำกว่าหรืออีกนัยหนึ่งคือมีความเป็นโฮโมจีเนียสที่สูงกว่า ทำให้มีค่าแกนพิกแบบไม่อ้อมตัวที่สูงกว่าสารเลเซอร์นีโอติเมียมสลิเกตแก๊สดังรูป 4.5 เนื่องจากจำนวนเลเซอร์โหมดที่เกิดขึ้นภายใต้ลักษณะแกนที่น้อยกว่า โหมดที่แกนพิกจึงมีพลังงานที่มากกว่าโหมดอื่นมาก จากพลังงานที่มากกว่าจึงทำให้โหมดนี้มีการดึงพลังงานจากโหมดที่ใกล้เคียงได้มากกว่า มีประสิทธิภาพกว่าโหมดที่แกนพิกของสารเลเซอร์นีโอติเมียมสลิเกตแก๊ส ดังนั้นการเกิดเลเซอร์ของนีโอติเมียมฟอตเฟตแก๊สจึงมีจำนวนโหมดที่น้อยกว่า และเป็นผลให้ที่แกนพิกมีค่าที่มากกว่า เนื่องจากส่งเสริมให้มีการดึงพลังงานจากโหมดที่อ่อนแอกว่าที่รุนแรงกว่าสารที่มีความเป็นอินโฮโมจีเนียสที่สูงกว่า

ส่วนนีโอติเมียมสลิเกตแก๊สมีลักษณะแกนที่กว้างกว่าเพราะเป็นสารที่มีความเป็นอินโฮโมจีเนียสที่สูงกว่า รวมทั้งมีจำนวนอะตอมแพ็คเกิดและพลังงานที่เก็บภายใต้อะตอมแพ็คเกิดที่มากกว่า สารเลเซอร์นีโอติเมียมสลิเกตแก๊สจึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของไฮบริดเลเซอร์ ในการทำให้เกิดลักษณะแกนที่กว้างและเรียบ ในการสร้างลักษณะแกนของไฮบริดเลเซอร์ที่เหมาะสมกับการสร้างความกว้างพัลส์ที่แคบและมีลักษณะแกนที่กว้างและเรียบนั้น โดยปกติสารเลเซอร์แบบอินโฮโมจีเนียสมีโหมดที่อยู่ภายใต้อะตอมแพ็คเกิดแต่ละอะตอมเกือบที่จะไม่ความสัมพันธ์ต่อกัน ดังนั้นการดึงพลังงานที่สะสมไว้ในแต่ละอะตอมแพ็คเกิดที่ใกล้เคียงจึงมีความรุนแรงน้อย แต่ละโหมดที่ภายใต้ลักษณะแกนมีการพัฒนาที่เป็นอิสระต่อกัน ลักษณะแกนจึงมีความเรียบกว่า และกว้างกว่าสารเลเซอร์แบบที่มีความเป็นอินโฮโมจีเนียสน้อย อาทิดึงพลังงานที่สะสมไว้ในแต่ละอะตอมแพ็คเกิด

แต่เนื่องจากระบบเลเซอร์แบบไฮบริดประกอบไปด้วยสารเลเซอร์สองชนิดคือนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซและนีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซ รูปแบบลักษณะแกนจึงเป็นผลรวมของจากลักษณะแกนของสารเลเซอร์ทั้งสอง ภายใต้อิทธิพลของพลังงานที่ได้รับของสารเลเซอร์แต่ละชนิดและการกระทำระหว่างแกนภายใต้อะตอมแพ็กเก็ต เลเซอร์อาจเกิดที่แกนพีดของนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ ที่แกนพีดเดิมนีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซ หรือระหว่างแกนพีดทั้งสอง และลักษณะแกนของสารเลเซอร์แบบไฮบริดก็อาจกว้างกว่าและเรียบกว่า หรืออีกทางหนึ่งก็อาจที่จะแคบและเป็นหลุมกว่าก็ได้ ผลดังกล่าวมีต้นตอมาจากการดึงพลังงานที่ที่สะสมไว้ในแต่ละอะตอมแพ็กเก็ตของโมดที่ใกล้เคียง การมีพลังงานที่เพิ่มขึ้น เสมือนว่าโมดนั้นได้รับแกนที่มากขึ้น เมื่อแกนมากขึ้นสัญญาณเลเซอร์ภายใต้โมดนี้ก็จะมีค่ามากขึ้น

เกิดจากการดึงพลังงานที่สะสมไว้ในแต่ละอะตอมแพ็กเก็ตของสารเลเซอร์นีโอดีเมียมซิลิเกตไปเพิ่มให้กับแกนภายใต้โมดของการดึงพลังงานที่สะสมไว้ในแต่ละอะตอมแพ็กเก็ต ซึ่งโมดดังกล่าวอยู่ห่างจากแกนพีด โมดนี้ได้รับแกนจากสารเลเซอร์ทั้งสอง ทำให้เกิดแกนที่มากกว่าแกนที่ได้จากเลเซอร์ชนิดใดชนิดหนึ่ง ประกอบกับการโมดนี้เกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่ห่างจากแกนพีด(เดิม) การเพิ่มขึ้นของแกนเป็นการเพิ่มความเรียบที่บริเวณพีดและขยายรูปลักษณะแกนให้กว้างขึ้น เป็นผลให้ไฮบริดเลเซอร์มีลักษณะแกนที่กว้างและเรียบกว่าเลเซอร์แบบปกติ รวมทั้งให้แกนพีดใหม่ที่อยู่ระหว่างแกนพีดเดิม (ระหว่าง 1054 นาโนเมตร และ 1060 นาโนเมตร) จากผลการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ให้พลังงานที่นีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซมาก ที่อินเวชันเรโซเป็น 6 เท่า และให้พลังงานนีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซน้อยกว่าที่อินเวชันเรโซเป็น 0.50 เท่า ลักษณะแกนของไฮบริดเลเซอร์ที่ได้มีขนาดกว้างขึ้น และเรียบขึ้น ดังรูปที่ 4.3 หรือให้พลังงานที่นีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซมากที่อินเวชันเรโซเป็น 6 เท่า และให้พลังงานน้อยกว่าที่นีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซ ที่อินเวชันเรโซเป็น 0.50 เท่า ดังรูปที่ 4.4 คุณสมบัติของลักษณะแกนนี้เป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเลเซอร์ที่มีความกว้างพัลส์ที่สั้นและมีความเสถียร ซึ่งสารเลเซอร์โดยปกติไม่สามารถที่จะทำให้เกิดแกนสภาพนี้ได้ จึงถือว่าการใช้สารเลเซอร์สองชนิดแบบอินโซโมจิเนียสที่ต่ำและสูงนั้นของไฮบริดเลเซอร์นั้น สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเลเซอร์ได้

อย่างไรก็ตามอัตราการให้พลังงานแก่สารเลเซอร์ของไฮบริดที่ไม่เหมาะสม ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของโมดใดโมดหนึ่งที่ไม่เหมาะสม ซึ่งนำไปสู่การดึงพลังงาน และลดของแกนจากโมดที่ใกล้เคียงมากเกินไป อาจทำให้ลักษณะแกนโดยรวมไม่เรียบ มีหลายพีด ซึ่งลักษณะแกนลักษณะนี้ไม่มีผลคือการสร้างเลเซอร์ที่ต้องการความเสถียร เพราะ โมดพีดต่างๆก็พยายามที่จะรักษาระดับการเกิดเลเซอร์ให้ได้ความแรงที่สุด เมื่อมีลักษณะแกนมีหลายพีด ก็มีการแข่งขันของโมดมาก ดังรูปที่ 4.3 ที่สารเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตก๊าซ มีค่าอินเวชันเรโซที่เพิ่มขึ้นเป็น 2.00 หรือดังรูปที่ 4.4 ที่สารเลเซอร์นีโอดีเมียมซิลิเกตก๊าซ มีค่าอินเวชันเรโซที่เพิ่มขึ้นเป็น 2.00

5.2 ข้อเสนอแนะ

การประเมินผลด้วยคอมพิวเตอร์แสดงว่าลักษณะแกนแบบ ไม่อิมพัลส์ของระบบเลเซอร์ไฮบริดที่นีโอดีเมียมฟอสเฟตแก๊สและนีโอดีเมียมสลิเกตแก๊สที่ได้ แสดงให้เห็นว่าการให้พลังงานแก่สารไฮบริดเลเซอร์ทั้งสองชนิดที่เหมาะสมแก่นีโอดีเมียมฟอสเฟตแก๊สและนีโอดีเมียมสลิเกตแก๊ส มีความกว้างและเรียบกว่าลักษณะแกนที่ได้จากเลเซอร์ชนิดเดียว ซึ่งลักษณะของลักษณะแกนนี้เป็นการชี้แนะว่าระบบไฮบริดที่นีโอดีเมียมฟอสเฟตแก๊สและนีโอดีเมียมสลิเกตแก๊สเลเซอร์มีศักยภาพในการให้ความกว้างพัลส์ที่แคบและมีความเสถียรกว่าเลเซอร์นีโอดีเมียมฟอสเฟตแก๊ส หรือเลเซอร์นีโอดีเมียมสลิเกตแก๊สอย่างใดอย่างหนึ่ง

หนึ่งประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์ยังขึ้นกับความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดเลเซอร์ (Pumping source laser) ความยาวคลื่นแสงที่ไม่เหมาะสมกับสารเลเซอร์อาจนำมาซึ่งประสิทธิภาพของเลเซอร์ที่ต่ำลง จากตาราง 2.2 เห็นได้ว่าการดูดซับพลังงานของสารเลเซอร์ทั้งสอง เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น (Absorption peak wavelength) ห่างกันโดยประมาณ 6 นาโนเมตร โดยปกติเมื่อไดโอดเลเซอร์ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเลเซอร์ เลเซอร์ลายวิที่มีค่าไม่เกิน 4 นาโนเมตร หรืออีกความหมายหนึ่ง ไดโอดเลเซอร์เป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมแก่สารเลเซอร์เพียงชนิดเดียว ภาพได้ระบบไฮบริดที่นีโอดีเมียมฟอสเฟตแก๊สและนีโอดีเมียมสลิเกตแก๊สเลเซอร์ เมื่อความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสงเป็นข้อกำหนดประสิทธิภาพของระบบ ระบบระบบไฮบริดควรเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการพัฒนาคุณภาพของเลเซอร์ และเพื่อเป็นการทำให้เกิดระบบอัลตราฟาสเลเซอร์ (Ultrafast laser system) ที่มีเสถียรภาพโดยใช้ประโยชน์จากการผสมผสานของสารเลเซอร์ที่ต่างชนิดกัน

บรรณานุกรม

- [1] U. Keller (1994) Ultrafast all-solid-state laser technology. *Appl. Phys. B*. vol. B58. pp. 347-363.
- [2] U. Keller, T. H. Chiu, and J. F. Ferguson (1993) Self-starting femtosecond mode-locked Nd:glass laser that uses intracavity saturable absorbers. *Opt. Lett.* vol. 18. pp. 1077-1079.
- [3] F. Krausz and et al. (1992) Femtosecond solid-state lasers. *IEEE J. Quantum Electron.* vol. 28. pp. 2097-2122.
- [4] J. A. der Au and et al. (1997) 60-fs pulses from a diode-pumped Nd:glass laser. *Opt. Lett.* vol. 22. pp. 307-309.
- [5] Li Yan. (1997). Continuous-wave lasing of hybrid lasers. *IEEE J. of Quantum Electrom.* vol. 33. pp. 1075-1083.
- [6] W. L. Cao and et al. (1997). A diode pumped continuous wave hybrid Nd:phosphate glass and Nd:YVO₄ laser. *OSA TOPS*, vol. 10. *Advance solid state laser 97*. pp. 158-161.
- [7] L. Yan and L. Ding. (1995) Intracavity injection lasing in a hybrid neodymium laser. *Appl. Phys. Lett.* vol. 67. pp. 3679-3681.
- [8] L. Yan and B. Guo. (1997) Actively mode-locking with a hybrid neodymium laser. *Appl. Phys. Lett.* vol. 70. pp. 3501-3503.
- [9] W. L. Cao and et al. (1997) A diode pumped, active mode-locked hybrid Nd:phosphate glass and Nd:YVO₄ laser. *LEOS'97 10th Annual meeting IEEE/Lasers and Electro-optics Society 1997 Annual Meeting on 10-13 Nov. 1997. San Francisco. CA.*
- [10] S. Tachatraiphop. 2002. Passive Mode Locking of a Diode-Pumped Hybrid Nd:glass and Nd:YVO₄ lasers. Ph. D dissertation. Electrical Engineering. University of Maryland.
- [11] B. Guo, L. Yan, and C. R. Menyuk. (2001) Actively mode locking with hybrid lasers. *IEEE J. of Quantum Electron.* vol. 37. pp. 1265-1272.
- [12] J. Zehetner, Ch. Spielmann, and F. Krausz, "Passive mode locking of homogeneously and inhomogeneously broadened lasers," *Opt. Lett.*, vol. 17, pp. 871-873, 1992.
- [13] F. Krausz, T. Brabec, and Ch. Spielmann, "Self-starting passive mode locking," *Opt. Lett.*, vol. 16, pp. 235-237, 1991.
- [14] H. A. Haus and E. P. Ippen, "Self-starting of passively mode-locked lasers," *Opt. Lett.*, vol. 16, pp. 1331-1333, 1991.

- [15] J. M. Pellegrino and et al. (1980) Composition dependence of Nd:3+ homogeneous linewidths in glasses. *J. Appl. Phys.* vol 51. pp. 6332-6336.
- [16] D. W. Hall and et al. (1983) Spectral and polarization hole burning in neodymium glass lasers. *IEEE J. Quantum Electron.* vol. QE-19, pp. 1704-1717.
- [17] M. M. Mann and L. G. Deshazer (1970) Energy levels and spectral broadening of neodymium ions in laser glass. *J. Appl. Phys.* vol. 41. pp. 2951-2957.
- [18] D. W. Hall and W. J. Weber (1984) Fluorescence line narrowing in neodymium laser glasses. *J. Appl. Phys.* vol. 55. pp. 2642-2647.
- [19] D. Kopf and et al. (1995) Diode-pumped mode-locked Nd:glass lasers with an antiresonant Fabry-Perot saturation absorber. *Opt. Lett.* vol. 20. pp. 1169-1171.
- [20] D. Kopf and et al. (1994) Pulse shortening in a Nd:glass laser by gain reshaping and soliton formation. *Opt. Lett.* vol. 19. pp. 2146-2148.
- [21] D. W. Hall and M. J. Weber (1984) Modeling gain saturation in neodymium laser glasses. *IEEE J. Quantum Electron.* vol. QE-20. pp. 831-834.
- neodymium laser glasses," *J. Appl. Phys.*, vol. 55, pp. 2642-2647, 1984.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ(ภาษาไทย) นางสาวสุกัญญา นามสกุลตระกูลเพชร ไตรภพ

(ภาษาอังกฤษ) Miss Sukanya Tachatriphop

ปัจจุบันทำงานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีเลเซอร์และโฟตอนิกส์

สำนักวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โทร 044-22-4643

โทรสาร 044-22-4185

E-mail: tsukanya@ccs.sut.ac.th

ประวัติการศึกษาโดยคร่าวดังนี้

1992 B.S. (Physics) King Mungkut Institute of Technology Thonburi, Thailand

1995 M.S. (Physics) King Mungkut Institute of Technology Thonburi, Thailand

1997 M.S. (Electrical Engineering) University of Maryland, College Park, USA

2002 Ph.D. (Electrical Engineering) University of Maryland, College Park, USA

Major: ElectroPhysics: Laser Technology and Photonics

Minor: MicroElectronics: Semiconductor Device

สาขาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ ในเรื่องระบบเลเซอร์หรือการประยุกต์ใช้งานเลเซอร์ในระบบ
อุตสาหกรรม อาทิการเชื่อมด้วยเลเซอร์กับงานอัญมณีและเครื่องประดับ

