

การศึกษาและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ

วีธีร์ ศรีมงคล¹ กอบชัย เดชหาญ²

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ³

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ชนิดกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศ เป็นเลเซอร์ที่มีลักษณะเป็นพัลส์และมีกำลังสูงมาก วิธีการกระตุ้นให้เกิดแสงเลเซอร์จะใช้สนามไฟฟ้ากระตุ้นในทิศตั้งฉากกับแนวลำแสงที่ออกมา ซึ่งการดีสชาร์จจะเกิดได้ง่ายขึ้นเมื่อเราใช้วงจรรีโอบอนไนซ์เข้าช่วยระบบ เลเซอร์ที่สร้างขึ้นมานี้สามารถให้พลังงานได้สูงถึง 1 จูลต่อพัลส์ ภายในปริมาตรที่ถูกกระตุ้นเพียง $1.4 \times 1.4 \times 30$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ลักษณะของการดีสชาร์จที่เกิดขึ้นจะมีความเป็นเอกพันธ์จึงสามารถดีสชาร์จได้ในอัตราส่วนของแก๊สผสม $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$ ได้ในอัตราส่วนสูงถึง 2 : 1 : 1

¹ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์

A Study and Construction of Transversely Excited Atmospheric-Pressure Carbondioxide Laser

Witee Srimongkol ¹ Kobchai Dechan ²

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Pichet Limsuwan ³

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi

Abstract

TEA-CO₂ laser is a pulse laser with very high peak power. The electrical field is used to pump the gas medium in the direction perpendicular to the laser axis **with** the help of preionization circuit. The volume of the laser medium containing in the laser system is 1.4 x 1.4 x 30 cm³. The constructed laser system can emit the energy 1 joule/pulse. The homogeneous **discharge** can be operated at higher concentration of CO₂ : N₂ : He about 2 : 1 : 1.

¹ Graduate Student, Department of Electrical Engineering

² Associate Professor, Department of Electrical Engineering

³ Associate Professor, Department of Physics

บทนำ

ระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศนั้นจำเป็นต้องได้รับการกระตุ้นเป็นพัลส์ระหว่างขั้วไฟฟ้า โดยจะทำการดิสชาร์จด้วยกระแสสูงในช่วงเวลาสั้นๆ แสงเลเซอร์ที่ได้ออกมาจะมีทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าซึ่งจะมีพัลส์ที่แคบและกำลังสูง ต่อมาการพัฒนาการกระตุ้นให้เกิดการดิสชาร์จให้เกิดได้ที่ความดันสูงขึ้นจนถึงความดันบรรยากาศหรือมากกว่า จะเป็นการนำเอาหลักการพรีไอออนไนซ์เข้ามาช่วย เพื่อช่วยให้เกิดการดิสชาร์จเกิดได้ง่ายขึ้น และยังทำให้เลเซอร์ที่ได้มีกำลังสูงขึ้นอีกด้วย [1]

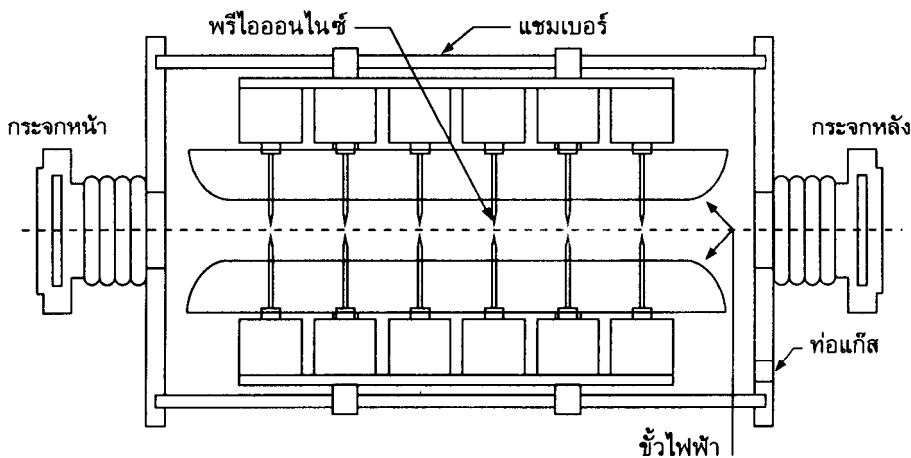
ในบทความนี้ได้ทำการสร้างระบบคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศและนำเอาวงจรพรีไอออนไนซ์เข้ามาช่วยในการเกิดการดิสชาร์จของแก๊สที่ใช้งาน และศึกษาเกี่ยวกับพลังงานของแสงเลเซอร์ที่มีผลมาจากอัตราส่วนผสมของแก๊สที่ใช้งานคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม และไนโตรเจน

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ส่วนประกอบของระบบ TEA CO₂ Laser มีดังนี้คือ

1. ช่องเลเซอร์ (Laser channel)

ช่องเลเซอร์เป็นส่วนที่มีการดิสชาร์จเกิดขึ้นภายในมีขนาดยาว 40 เซนติเมตร รัศมี 15 เซนติเมตร ในการทดลองนี้จะทำมาจากท่ออะครีลิก และทำการยึดหัวท้ายด้วยแผ่นอะครีลิก ซึ่งแผ่นอะครีลิกนี้จะยึดติดกับตัวปรับกระแสจกเลเซอร์และมีทางให้แก๊สผ่านเข้าออกได้ โดยภายในด้านบนและล่างจะติดขั้วไฟฟ้าไว้ ซึ่งจะติดอยู่กับตัวเก็บประจุที่เป็นส่วนประกอบของวงจรพรีไอออนไนซ์ขั้วละ 12 ตัวห่างในระยะเท่าๆ กัน ซึ่งในช่องเลเซอร์นี้จะทำการซีลไว้เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปเพื่อให้ระบบสะอาด โดยแสดงไว้ในรูปที่ 1



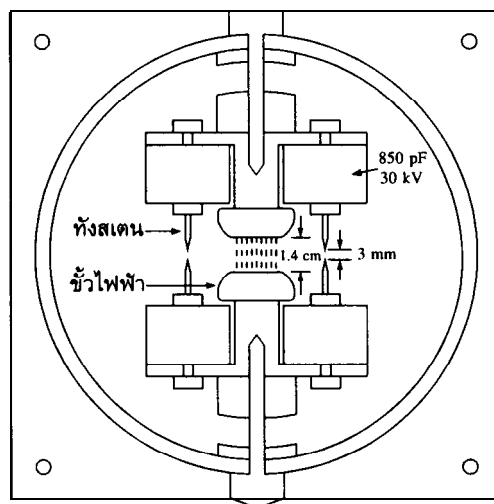
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของช่องเลเซอร์

2. ขั้วไฟฟ้า (Electrode)

ขั้วไฟฟ้าในระบบนี้ทำจากแท่งอลูมิเนียมขนาด $320 \times 30 \times 10 \text{ mm}^3$ โดยที่จะแต่งผิวให้รูปร่างเป็นไปตามสมการของ Chang [2] เพื่อลดความเครียดของสนามไฟฟ้าบริเวณขอบหรือมุมของขั้วไฟฟ้าให้มีค่าน้อยที่สุด และให้การกระจายจที่เกิเกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอมากที่สุดตลอดแนวของขั้วไฟฟ้า ซึ่งสมการของ Chang จะเป็นดังนี้คือ

$$y = \pi + k \cosh(x)$$

โดยการกำหนดค่า k ซึ่งเป็นตัวแปรทางเรขาคณิตจะทำให้ได้ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าที่มีความโค้งต่างๆ กัน ซึ่งเราต้องหาค่า k ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผิวโค้งที่ทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองมีค่าสม่ำเสมอมากที่สุด แต่ในการสร้างขั้วไฟฟ้าให้มีรูปร่างเป็นไปตามสมการนั้นเป็นไปได้ยากมาก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการลบมุมของขั้วไฟฟ้าให้มีลักษณะโค้งมนทุกๆ ด้าน ระยะห่างของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมีค่าประมาณ 1.4 มิลลิเมตร ซึ่งภาคตัดขวางของระบบเลเซอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงภาคตัดขวางของช่องเลเซอร์

3. วงจรพรีไอออไนซ์ (Preionization circuit)

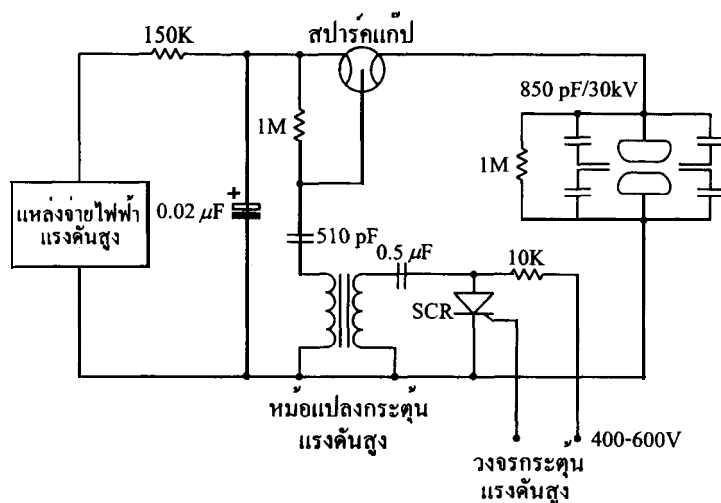
ในการทำให้เกิดการกระจายจขึ้นที่ความดันบรรยากาศหรือสูงกว่าจำเป็นต้องใช้ระบบพรีไอออไนซ์เข้ามาช่วย [3] วงจรพรีไอออไนซ์จะสร้างแสงอุลตราไวโอเล็ตขึ้นมาซึ่งจะไปช่วยทำให้อะตอมของแก๊ส ที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าแตกตัวออกทำให้ได้อิเล็กตรอน ซึ่งจะเป็จุดเริ่มในการนำกระแสไฟฟ้าผ่านแก๊สผสมที่ใช้งานและช่วยทำให้การกระจายจเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและมีเสถียรภาพ

ระบบพรีไอออไนซ์ที่สร้างขึ้นนี้จะผลิตแสงอุลตราไวโอเล็ตจากการสปาร์ค โดยจะใช้ตัวเก็บประจุค่า 850 pF ทนแรงดันได้ 30 kV ต่อไว้ที่ขั้วไฟฟ้าข้างละ 3 คู่ ที่ปลายของตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะ

ต่อเชื่อมแหลมที่ทำจากทั้งสแตน โดยตัวเก็บประจุแต่ละคู่ปลายเข็มจะห่างกันประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดจุดที่สร้างแสงอุลตราไวโอเลต 6 จุดตลอดแนวปริมาตรที่เกิดการดิสชาร์จ

4. วงจรกระตุ้นเลเซอร์ (Excitation circuit)

วงจรที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์มีส่วนประกอบดังรูปที่ 3 ซึ่งการทำงานจะเป็นดังนี้คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจะทำการประจุให้กับตัวเก็บประจุ 0.02 ไมโครฟารัดจนถึงแรงดันไฟฟ้าค่าที่ต้องการสำหรับช่องเลเซอร์ เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นจากวงจรกระตุ้นสัญญาณนี้จะถูกขยายแรงดันขึ้นโดยหม้อแปลงกระตุ้นแรงดันสูง ซึ่งจะไปกระตุ้นให้สปาร์กแก๊ป ดังนั้นพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเก็บประจุก็จะดิสชาร์จผ่านสปาร์กแก๊ปไปยังขั้วไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการดิสชาร์จผ่านแก๊สที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 3 แสดงวงจรกระตุ้นช่องเลเซอร์และวงจรพรีไอออนไนซ์

5. กระจกเลเซอร์ (Laser mirror)

ควาติ์ของเลเซอร์หรือส่วนที่เป็นตัวกลางซึ่งทำให้เกิดแสงเลเซอร์ประกอบด้วย

5.1 กระจกหลัง ทำมาจากผลึกซิลิคอน (Si) แล้วทำการเคลือบด้วยทอง (Au) เนื่องจากทองจะสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดได้ดี โดยสามารถสะท้อนแสงได้ร้อยละ 98-100 สำหรับแสงที่ความยาวคลื่น 10.6 ไมครอน ซึ่งเป็นความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ถูกปล่อยให้ออกมา

5.2 กระจกหน้า ทำมาจากผลึกซิงค์ซัลไฟด์ (ZnSe) แล้วทำการเคลือบสารไดอิเล็กทริกเพื่อให้สะท้อนแสงได้บางส่วน (partial reflection film)

6. ระบบแก๊ส

ในระบบ TEA-CO₂ Laser แก๊สผสมที่ใช้ประกอบด้วยแก๊ส 3 ชนิดคือ แก๊สไนโตรเจน (N₂), แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแก๊สฮีเลียม (He) การปรับอัตราส่วนของแก๊สในระบบแต่ละชนิดจะอาศัยการเปรียบเทียบจากความดันรวมทั้งหมดภายในแชมเบอร์

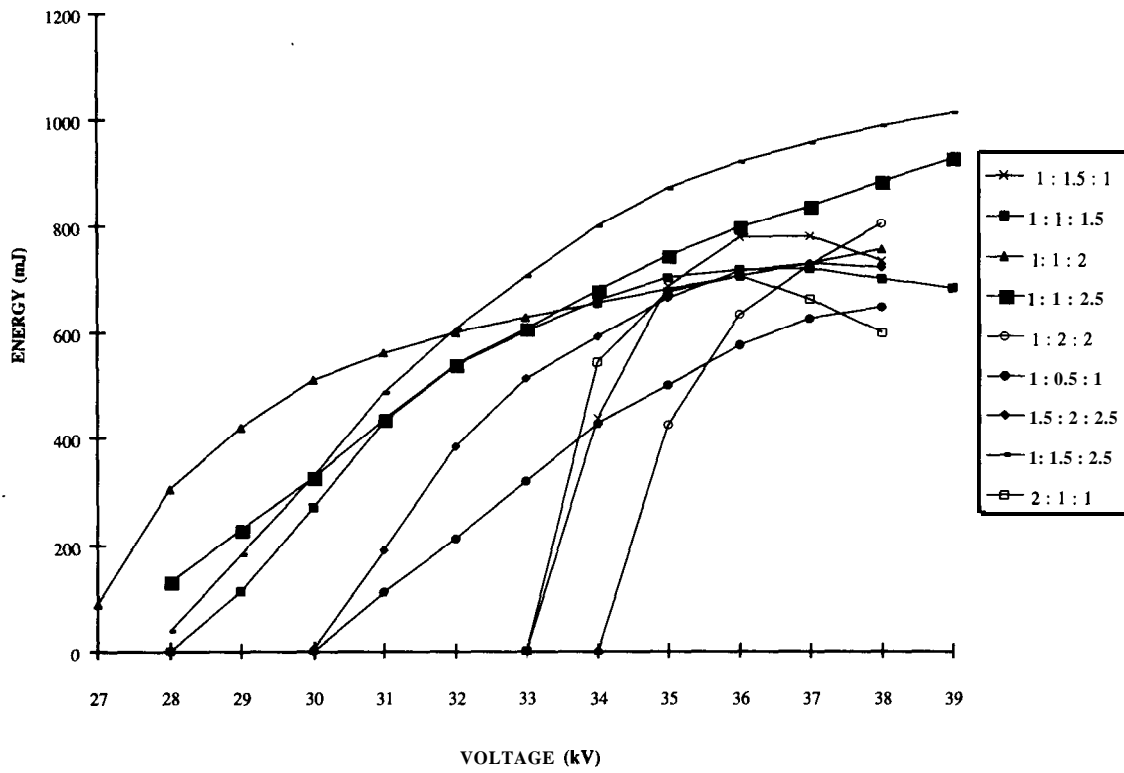
วิธีการทดลอง

เมื่อประกอบส่วนต่างๆ ของเลเซอร์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน ต่อไปทำการปรับกระจกหน้าและกระจกหลังให้ขนานกันโดยใช้ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ช่วย หลังจากนั้นให้ทำการทดลองตามขั้นตอนต่อไปนี้

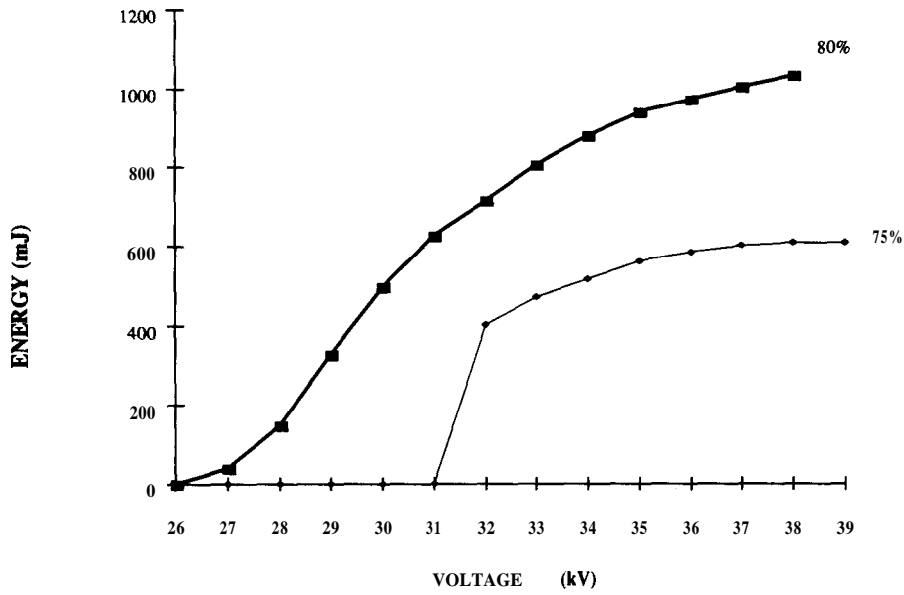
1. ดูดูอากาศออกจากแชมเบอร์ของระบบเลเซอร์
2. ใส่แก๊สต่างๆ ตามอัตราส่วนที่ต้องการเข้าไป ในแชมเบอร์ โดยที่อัตราส่วนของแก๊สจะดูได้จากความดันรวมของแก๊สซึ่งอยู่ภายในแชมเบอร์ สำหรับในการทดลองนี้จะใช้อัตราส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนและฮีเลียมดังนี้ $1 : 1.5 : 1$, $1 : 1 : 1.5$, $1 : 1 : 2$, $1 : 1 : 2.5$, $1 : 2 : 2$, $1 : 0.5 : 1$, $1.5 : 2 : 2.5$, $1 : 1.5 : 2.5$, $2 : 1 : 1$ และในช่วงแรกนี้ได้เลือกใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสงร้อยละ 80
3. ที่อัตราส่วนผสมของแก๊สแต่ละค่า ทำการวัดค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้โดยใช้อุปกรณ์วัดพลังงาน เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่ระบบเลเซอร์ที่ค่าต่างๆ กันตั้งแต่ 27-39 kV
4. จากผลการทดลองในข้อ 2 และ 3 เราจะได้ค่าอัตราส่วนผสมของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดซึ่งให้ค่าพลังงานของแสงเลเซอร์สูงสุด สำหรับกระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสงร้อยละ 80
5. หลังจากได้อัตราส่วนผสมของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดแล้วให้ทดลองตามข้อที่ 3 แต่ใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสงค่าอื่นคือร้อยละ 75

ผลการทดลอง

1. จากการทดลองตามข้อ 2 และ 3 ในหัวข้อที่แล้วเมื่อใช้กระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสงร้อยละ 80 เพื่อหาอัตราส่วนผสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนและฮีเลียมที่เหมาะสมที่สุดซึ่งให้พลังงานของเลเซอร์สูงสุด ผลการทดลองแสดงโดยกราฟในรูปที่ 4
2. จากกราฟในรูปที่ 4 จะเห็นว่าอัตราส่วนผสมของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดคือ $1 : 1.5 : 2.5$
3. นำค่าอัตราส่วนผสมของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดนี้ไปใช้กับกระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนร้อยละ 75 เพื่อเปรียบเทียบกับกระจกเลเซอร์ที่มีการสะท้อนแสงร้อยละ 80 ผลการวัดพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้แสดงโดยกราฟในรูปที่ 5



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานของเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้าที่สัดส่วนของแก๊สผสมต่างๆ กัน



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานของเลเซอร์กับแรงดันไฟฟ้าเมื่อกระจุกละเซอร์มีเปอร์เซ็นต์ การสะท้อนแสงร้อยละ 75 และร้อยละ 80

สรุป

1. จากกราฟในรูปที่ 4 จะเห็นว่าอัตราส่วนของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้พลังงานของแสงเลเซอร์มีค่าสูงสุดคือ 1 : 1.5 : 2.5 ที่ความดันของแก๊ส 800 มิลลิบาร์

2. ค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่วัดได้สูงสุดมีค่า 1048 มิลลิจูลน์ สำหรับกระจกเลเซอร์ด้านหน้าที่มีการสะท้อนแสงร้อยละ 80

3. จากกราฟในรูปที่ 5 เมื่อนำอัตราส่วนของแก๊สที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 : 1.5 : 2.5 ไปใช้กับกระจกเลเซอร์ที่มีการสะท้อนแสงร้อยละ 75 พบว่าค่าพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ได้มีค่าน้อยกว่ากระจกเลเซอร์ที่มีการสะท้อนร้อยละ 80

เมื่อเราปรับอัตราส่วนต่างๆ ของแก๊สตามที่เราต้องการทดสอบแล้วเราวัดค่าพลังงานของเลเซอร์ที่ออกมาจะวัดพลังงานของเลเซอร์ได้สูงสุดที่ 1048 mJ ที่แรงดันไฟฟ้า 38 กิโลโวลต์ในอัตราส่วนของแก๊สคือ 1 : 1.5 : 2.5 ที่ความดัน 800 มิลลิบาร์ นอกจากนี้แล้วระบบเลเซอร์ที่สร้างขึ้นมายังสามารถทำงานที่อัตราส่วนของแก๊สผสมได้สูงถึง 2 : 1 : 1 ซึ่งจะเห็นว่าในระบบมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ถึง 2 ใน 4 ส่วนซึ่งโดยปกติแล้วจะเกิดการดิสชาร์จได้ยาก ผลที่เกิดขึ้นคือ จะได้เลเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าพลังงานของเลเซอร์จะมีค่าสูงสุดหรือมีประสิทธิภาพสูงสุดที่เปอร์เซ็นต์การสะท้อนของกระจกหน้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 80 ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5

จากการสังเกตลักษณะของการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรด จะเห็นว่าวงจรรีโอดอนไนซ์สามารถให้แสงอุลตราไวโอเล็ตที่มีความเข้มแสงสูงมาก จึงทำให้แก๊สถูกไอออนไนซ์ในเชิงปริมาตรได้สูง ดังนั้นจึงทำให้การดิสชาร์จมีความเป็นเอกพันธ์ (homogeneous) มาก ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเลเซอร์

ระบบเลเซอร์แบบกระตุ้นตามขวางที่ความดันบรรยากาศที่สร้างขึ้นเป็นชนิดแก๊สเลเซอร์ซึ่งจะให้พลังงานออกมาเป็นพัลส์ ระบบเลเซอร์นี้ได้ใช้วงจรรีโอดอนไนซ์เข้ามาช่วย ทำให้เกิดการดิสชาร์จที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอและมีความเป็นเอกพันธ์มาก เลเซอร์ชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมได้ เช่น นำไปสร้างเลเซอร์สำหรับตัด เจาะ แกะสลักวัสดุต่างๆ ได้หลายชนิด ใช้งานในด้านตรวจมลภาวะหรือแก๊สที่อยู่สูงๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

1. Peter, K.Cheo, 1989. *Handbook of Molecular Lasers*. Marcel Deckker Inc., pp.93-164.
2. Chang. T.Y.. 1973. "Improve Uniform-Field Electrode Profiles for TEA Laser and *High Voltage Applications*," *Rev. Sci. Instrum*, Vol. 44. pp. 405-7, p. 1877.
3. Walter, B., 1986, "TEA CO₂ Lasers, physical problems and technical solutions," *High Power Lasers and Their Industrail Applications*, *SPIE*, Vol. 850, pp.52-58.