หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ข้อสรุปจากการทดลอง

1. การกระจายตัวของอะตอมฟอสฟอรัสเมื่อแอนนีลด้วยแสงเลเซอร์

ในการทดลองใช้แสงเลเซอร์แบบคิว-สวิทช์ จากเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ด้วยพลังงานในช่วง 2.0 ถึง 8.0 จูล/ตารางเซนติเมตร แอนนีลหัวต่อพี-เอ็น ที่เตรียมจากแผ่นผลึกซิลิกอนชนิดพี ที่แพร่ซึมด้วยฟอสฟอรัส พบว่าการกระจายตัวของอะตอมฟอสฟอรัสในเนื้อซิลิกอนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก พลังงานโฟตอนของเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าน้อยกว่าช่วงพลังงานของซิลิกอน พลังงานส่วนใหญ่จึงทะลุผ่านเนื้อซิลิกอนเกือบหมด แสงเลเซอร์จากเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์จึงไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในหัวต่อพี-เอ็น

2. ความต้านทานอนุกรมของหัวต่อ

ความต้านทานอนุกรมของหัวต่อพี-เอ็น จะเริ่มลดลงเมื่อแอนนีลด้วยแสงเลเซอร์แบบคิว-สวิทช์ จากเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีพลังงานมากกว่า 3.0 จูล/ตารางเซนติเมตร การลดลงของค่าความต้านทานอนุกรมนี้จะลดลงเป็นสัดส่วนกับพลังงานของแสงเลเซอร์ที่แอนนีล และความต้านทานอนุกรมนี้จะลดลงจนมีค่าอิ่มตัว เมื่อแสงเลเซอร์ที่แอนนีลมีพลังงานประมาณ 7.0 จูล/ตารางเซนติเมตร การเปลี่ยนแปลงนี้น่าจะเกิดจากการลดของ barrier height ระหว่างนิเกิล-ซิลิกอน ซึ่งลดลงเป็นส่วนกลับกับพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ฉาย และเข้าสู่จุดอิ่มตัวในที่สุด

3. ชนิดของเลเซอร์ที่เหมาะแก่การแอนนีล

แสงเลเซอร์แบบคิว-สวิทช์ สามารถใช้แอนนีลหัวต่อพี-เอ็น ได้ดีกว่าแสงเลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่อง ทั้งๆ ที่พลังงานเฉลี่ยที่ได้จากแสงเลเซอร์แบบคิว-สวิทช์ นั้นมีค่าน้อยกว่าพลังงานของแสงเลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่อง ที่เป็นเช่นนี้เพราะแสงเลเซอร์แบบคิว-สวิทช์ นั้นถึงแม้นจะใช้พลังงานเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาแอนนีลน้อย แต่กำลังเอาท์พุทแบบพีก (Peak power) มีค่าสูงกว่าแบบคลื่นต่อเนื่องมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกรณีใช้แสงเลเซอร์แบบคิว-สวิทช์ แอนนีลจึงมีมากกว่าเมื่อแอนนีลด้วยแสงเลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่อง

4. ความเหมาะสมในการเลือกใช้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่นต่างกันในการแอนนีล

ในการทดลองเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากการแอนนีลหัวต่อพี-เอ็น ด้วยแสงเลเซอร์แบบคลื่นต่อเนื่อง ของเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์และเลเซอร์แย็ค พบว่าถึงแม้เลเซอร์แย็คที่ใช้ทำการแอนนีลจะมีพลังงานน้อยกว่าเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ แต่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสมบัติกระแส-แรงเคลื่อนไฟฟ้าได้มากกว่า คือ กระแสรั่วไหลแบบย้อนกลับลดลง และแรงเคลื่อนไฟฟ้าพังทลายแบบย้อนกลับสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะความผิดปกติในหัวต่อลดลงเมื่อถูกแอนนีล ทั้งนี้เพราะเลเซอร์แย็คนั้นมีความยาวคลื่น 1.06 ไมโครเมตร มีพลังงานโฟตอนที่เหมาะสมกับช่วงพลังงานของซิลิกอนมากกว่า พลังงานจากเลเซอร์จึงถูกดูดกลืนได้ดีกว่าและส่งผลของการแอนนีลได้ดีกว่าเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร

5.2 ข้อดี - ข้อเสีย ของการแอนนีลด้วยแสงเลเซอร์

ข้อดี

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีราคาถูกกว่าเตาอุณหภูมิสูง
2. สามารถลดขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ
3. มีความสะดวกและรวดเร็วกว่าการแอนนีลในเตา
4. การแอนนีลด้วยแสงเลเซอร์นั้นมีความสะอาดมากกว่าการแอนนีลในเตา
5. ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในเนื้อสารกึ่งตัวนำมีน้อยกว่า

ข้อเสีย

1. แสงเลเซอร์ที่ใช้บางชนิดมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ในการฉายแสงเลเซอร์จึงจำเป็นต้องมีเครื่องบอกตำแหน่งของลำแสงที่ตกกระทบ

2. แสงเลเซอร์นั้นสามารถสะท้อนออกไปรอบๆ ได้ ทำให้อาจเกิดอันตรายกับผู้ให้ได้ถ้าไม่ระมัดระวัง และไม่ป้องกันดีพอ

3. แสงเลเซอร์แต่ละชนิดมีพลังงานโฟตอนไม่เท่ากัน ดังนั้นการใช้แสงเลเซอร์หนึ่งแอนนีลสารหนึ่งตัวนำชนิดหนึ่งได้ผล แต่อาจจะไม่เกิดผลใดๆ เกิดขึ้นเมื่อนำไปแอนนีลกับสารกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่ง

4. การดูดกลืนพลังงานแสงเลเซอร์ของสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกัน อาจมีไม่เท่ากัน ขึ้นกับผิวหน้าของสารกึ่งตัวนำที่ทำการฉายแสง

5. ในการใช้แสงเลเซอร์หลายๆ ชนิดในการทำวิจัย จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ทางแสงหลายชุด เนื่องจากแสงเลเซอร์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ กัน จะสามารถส่องผ่านวัตถุที่ใช้ทำอุปกรณ์ทางแสงได้ไม่เท่ากัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การแอนนีลหัวต่อพี-เอ็น ด้วยแสงเลเซอร์นั้น การโฟกัสให้ลำแสงเลเซอร์มีขนาดเล็กนั้นมีความจำเป็นมาก เพราะจะทำให้แสงเลเซอร์ที่ตกลงบนผิวหน้าสารกึ่งตัวนำที่ถูกแอนนีลมีความเข้มมากขึ้น

2. ในการแอนนีลด้วยแสงเลเซอร์ชนิดที่มีความยาวคลื่นอยู่นอกเหนือช่วงสเปคตรัมของแสงที่ตามองเห็น เวลาแอนนีลควรจะมีอุปกรณ์สำหรับชี้บริเวณที่แสงเลเซอร์ตกกระทบ

3. ระบบการเลื่อนตัวอย่างที่แอนนีลควรจะสามารถตั้งขอบเขตของการเลื่อนทั้งในแกน x และ y ความเร็วในการเลื่อนควรจะปรับได้ และมีค่าสม่ำเสมอ

4. เลเซอร์ที่ใช้ในการแอนนีลควรมีกำลังเอาพุทที่สม่ำเสมอ

5. การเลือกใช้แสงเลเซอร์เพื่อทำการแอนนีลสารกึ่งตัวนำนั้น ควรเลือกแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นเหมาะสม พลังงานโฟตอนของแสงเลเซอร์ควรมีค่ามากกว่าช่วงพลังงานของสารกึ่งตัวนำนั้น

6. เลเซอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ควรเป็นเลเซอร์ที่สามารถปรับกำลังเอาพุทและขนาดของพัลส์ได้ เพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับขั้นตอน วิธี และชนิดของสารกึ่งตัวนำ

7. ควรมีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดจาก การสะท้อนของแสงเลเซอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย