บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการคำนวณ

จากการศึกษาปั๊มอิเล็กตรอนเดี่ยวซึ่งเป็นระบบที่ประกอบด้วยเกาะโลหะสองเกาะและรอยต่อทะลุผ่านสามรอยต่อ โดยมีขั้วเกตทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าสถิตภายในเกาะโลหะ จากงานวิจัยของลิมบัชและคณะ [11] ที่ได้ศึกษาปรากฏการณ์การขัดขวางแบบคูลอมบ์ในอุปกรณ์ดังกล่าว พร้อมทั้งวัดค่าความนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของแต่ละรอยต่อ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ทำให้สามารถศึกษาอุปกรณ์ดังกล่าวด้วยวิธีการเชิงตัวเลข ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์การขัดขวางแบบคูลอมบ์ จากการคำนวณจำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยของระบบด้วยวิธีการควอนตัมมอนติคาร์โล โดยนิยามปริมาณดังกล่าวจากผลรวมของจำนวนอิเล็กตรอนในเกาะโลหะฝั่งซ้ายและฝั่งขวา ซึ่งสามารถสรุปผลการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

ในกรณีที่กำหนดค่า n_{L0} (หรือ n_{R0}) มีค่าเป็นศูนย์ และเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเฉพาะที่ n_{L0} (หรือ n_{R0}) พบว่า จำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยในปั๊มอิเล็กตรอนมีค่าเพิ่มขึ้นตามศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วเกต กล่าวคือ ในเกาะโลหะที่ถูกกำหนดให้ศักย์ไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์จะมีจำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยประมาณศูนย์ แต่ในเกาะโลหะที่มีการปรับเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้า จำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง กล่าวคือ เพิ่มขึ้นในลักษณะขั้นบันไดเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วเกตมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากปรากฏการณ์การขัดขวางแบบคูลอมบ์ นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของจำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยยังขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิ กล่าวคือ ในกรณีที่อุณหภูมิสูง $(\beta E_C < 5)$ จำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยรวมของระบบมีลักษณะการเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นแบบต่อเนื่อง แสดงว่าปรากฏการณ์การขัดขวางแบบคูลอมบ์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิดังกล่าว แต่ในกรณีอุณหภูมิต่ำ $\beta E_C > 5$ จำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยของระบบมีการเพิ่มขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากกรณีดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์การขัดขวางแบบคูลอมบ์

นอกจากนี้ ในงานวิจัยได้แสดงผลการคำนวณจำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยในรูปแบบสามมิติ กล่าวคือ ให้พารามิเตอร์ n_{L0} และ n_{R0} เปลี่ยนแปลงพร้อมกันในระนาบ n_{L0} และ n_{R0} โดยแสดงจำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยในแนวแกนตั้ง พบว่า จำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยมีลักษณะเพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดในสามมิติ ซึ่งเมื่อฉายภาพสามมิติดังกล่าวลงบนระนาบ $n_{L0} - n_{R0}$ และใช้สีที่แตกต่างกันแทนจำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ย ทำให้ได้แผนภาพเสถียรที่สามารถแสดงสถานะของอิเล็กตรอนเฉลี่ยในปั๊มอิเล็กตรอนเดี่ยว โดยแผนภาพดังกล่าวประกอบด้วยเชลล์หกเหลี่ยมที่แสดงสถานะต่างๆ ของอิเล็กตรอนในปั๊มอิเล็กตรอนเดี่ยว ซึ่งผลการคำนวณดังกล่าวสอดคล้องกับวิธีการที่มาตรฐาน [15] และมีความพิเศษตรงที่แผนภาพเสถียรที่คำนวณด้วยวิธีการควอนตัมมอนติคาร์โลสามารถแสดงผลของอุณหภูมิร่วมด้วย ซึ่งผลดังกล่าวทำให้ขอบเขตสถานะของอิเล็กตรอนไม่เด่นชัดเหมือนในกรณีวิธีการมาตรฐาน เนื่องจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานความร้อนทำให้อิเล็กตรอนมีโอกาสทะลุผ่านมายังเกาะโลหะได้มากขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าผลการคำนวณจำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยในปั๊มอิเล็กตรอนเดี่ยวสามารถแสดงการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์การขัดขวางแบบคูลอมบ์และสามารถนำผลดังกล่าวไปสร้างแผนภาพเสถียรเพื่ออธิบายสถานะของอิเล็กตรอนได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากการศึกษาปั๊มอิเล็กตรอนเดี่ยวด้วยแผนภาพเสถียร ซึ่งผลจากการคำนวณด้วยวิธีควอนตัมมอนติคาร์โล มีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่สนใจศึกษาในลำดับต่อไปนี้ ดังนี้

1. ในการศึกษาอุปกรณ์อิเล็กตรอนเดี่ยวควรศึกษาปริมาณอื่นเพิ่มเติม เช่น พลังงานการยังผล [9] และค่าความนำไฟฟ้า [10] พร้อมทั้งนำผลดังกล่าวเปรียบเทียบกับผลการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

2. ในงานวิจัยนี้ ได้นำผลการคำนวณจำนวนอิเล็กตรอนเฉลี่ยไปสร้างแผนภาพเสถียรเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนของปั๊มอิเล็กตรอนเดี่ยว แต่วิธีการดังกล่าวนี้ ไม่ได้ถูกเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งงานวิจัยต่อไปควรนำผลดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

3. ในกรณีที่อุณหภูมิต่ำๆ กล่าวคือ βE_C มีค่ามาก จะเกิดปัญหาเฟอร์มิออนิกส์ไซด์ในการคำนวณ เพื่อจะลดปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยต่อไปควรใช้วิธีการคลัสเตอร์มอนติคาร์โล (cluster monte carlo method) [23]