บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในเชิงอุตสาหกรรมอุปกรณ์ปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เช่น เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนในกล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอน หลอดรังสีเอ็กซ์ และจอภาพแสดงข้อมูล โดยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแก่วัสดุ จนกระทั้งอุณหภูมิสูงมากพอที่สามารถทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิววัสดุได้ วัสดุในกลุ่มนี้ได้แก่ โลหะต่างๆ เช่น โมลิดินั่ม ทังสเตน เป็นต้น ขณะเดียวกัน การปลดปล่อยอิเล็กตรอนสามารถเกิดขึ้นได้ในทำนองเดียวกันที่อุณหภูมิห้อง ด้วยวิธีการให้สนามไฟฟ้าแก่วัสดุที่ใช้เป็นขั้วคาโทด หรือเรียกว่า cold cathode นั้น ได้มีรายงานการวิจัยครั้งแรกในปี 1972 แสดงการนำแผ่นกราไฟร์ มาทดสอบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนภายใต้สนามไฟฟ้า[1] และในเวลาต่อมาได้มีการศึกษาเพิ่มเติมในวัสดุชนิดอื่นๆ ตามมา เฉพาะในกลุ่มของวัสดุคาร์บอน เช่นในฟิล์มของเพชร จากรายงานพบว่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจะมีค่าประมาณ 3.0 V/μm [2] ปัจจุบันอุปกรณ์ปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมากในการศึกษาหาวัสดุที่มีขนาดเล็ก มีความแข็งแรง ราคาถูก ประหยัดพลังงานและผลิตได้ง่าย คาร์บอนในรูปของท่อที่เกิดจากการห่อตัวของแผ่นกราฟีนจัดเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ดึงดูดความสนใจต่อนักวิจัย เนื่องจากมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเล็ก (~1-200 nm) และมีสมบัติเชิงกลและไฟฟ้าที่ดี สามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้ภายใต้สนามไฟฟ้าที่ต่ำ (~1-4 V/μm) [1] และให้ความหนาแน่นของกระแสอิเล็กตรอนเนื่องจากการปลดปล่อยได้สูงกว่า 1 mA/cm^2 [1] แต่การปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอนสามารถเกิดขึ้นในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งเกิดขึ้นได้หลากหลายปัจจัย ทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ วิธีการเตรียม ความหนาแน่นและความสมบูรณ์ของท่อ เป็นต้น ในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน (ท่อนาโนคาร์บอน) สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี ได้แก่ High pressure arcs [3], Laser ablation [4] และ Chemical vapor deposition (CVD) [5] ซึ่งการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ CVD เป็นเทคนิคที่สามารถควบคุมตำแหน่งการเกิด ท่อนาโนคาร์บอน บนแผ่นรองรับ มีลักษณะตั้งตรง นอกจากนี้ขนาดความยาวของท่อจะมีลักษณะค่อนข้างยาวกว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีอื่นๆ

จากผลของการศึกษาสมบัติของ ท่อนาโนคาร์บอน ของนักวิจัยกลุ่มต่างๆ ทำให้บางกลุ่มเริ่มให้ความสนใจในการที่จะเติมอะตอมหรือโมเลกุลชนิดอื่นๆ เช่น โปรอน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน[2,6] ให้กับท่อนาโนคาร์บอน และศึกษาสมบัติต่างๆ ของท่อนาโนคาร์บอนที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการทดลองที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอน เมื่อมีการเติมปริมาณอะตอมของไนโตรเจน [7] ที่แตกต่างกัน พบว่าโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มมากขึ้น[8] ซึ่งวิธีการเติม

ไนโตรเจนจะใช้หลักการของการแตกตัวของโมเลกุลของไนโตรเจนในรูปพลาสมาฉายลงบนท่อนาโนคาร์บอนหลังจากการสังเคราะห์ ซึ่งปริมาณของอะตอมที่สามารถบรรจุรวมกับท่อนาโนคาร์บอนจะมีปริมาณที่ต่ำ ~ 4.08 at%[9] ค่าสนามไฟฟ้าของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนอยู่ที่ 2.3 V/μm นอกจากนี้ยังมีการนำท่อนาโนคาร์บอนที่เติมไนโตรเจนไปฉายด้วยพลาสมาของคลอรีน พบว่าความหนาแน่นของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีอะตอมของคลอรีนมาแทรกตัว (1.3-15 mA/cm^2) ขณะที่ค่าสนามไฟฟ้าของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจะมีค่าลดลง มีค่าประมาณ 1.9 V/μm [10] จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาเหล่านี้แสดงให้ทราบได้ว่าการเติมไนโตรเจนมีผลต่อการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอน ขบวนการเติมไนโตรเจนระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ เช่นใช้แก๊สแอมโมเนียผสมระหว่างการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน เพื่อให้เกิดการแทรกตัวของอะตอมไนโตรเจนในท่อนาโนคาร์บอนคาดว่าน่าจะเกิดได้ในปริมาณที่มากยิ่งขึ้น และจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนของท่อนาโนคาร์บอน และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอน ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นอุปกรณ์ปลดปล่อยอิเล็กตรอนในเครื่องมือต่างๆ ได้

2.1 ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes)

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991 เมื่อ Iijima ได้ทำการค้นพบ ท่อนาโนคาร์บอน ขึ้นครั้งแรก ทำให้ต่อมามีสังเคราะห์ ท่อนาโนคาร์บอน ในรูปแบบเทคนิคต่างๆ เพิ่มมากขึ้น ต่อมาได้มีการศึกษาโครงสร้าง สมบัติและประโยชน์ของท่อนาโนคาร์บอนอย่างกว้างขวางมากขึ้น ทำให้สามารถเข้าใจโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งพบว่า เกิดจากการม้วนของชั้นกราฟีนเกิดเป็นท่อทรงกระบอก ซึ่งพันธะในการยึดเหนี่ยวของท่อนาโนคาร์บอนจะจับตัวกับของอะตอมคาร์บอนจะอยู่ในรูปของ C-C แบบ sp^2 [11] โดยสมบัติของท่อนาโนคาร์บอน ในที่นี้จะขึ้นกับโครงสร้างและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ รวมทั้งความสมบูรณ์และความบกพร่องทางโครงสร้างของท่อ ปัจจัยเหล่านี้อาจจะมีผลต่อการปลดปล่อยอิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานที่สูงเพียงพอ การเติมไนโตรเจนเพื่อแทรกตัวในโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน เป็นสาเหตุที่ทำให้โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนมีความบกพร่องและเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอนด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาผลของการแตกตัวของแก๊สแอมโมเนีย ที่สามารถแตกตัวเป็นแก๊สไฮโดรเจนและไนโตรเจนได้ในช่วงอุณหภูมิ 450-500 ^{o}C ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ท่อนาดนคาร์บอนด้วยกระบวนการตกเคลือบไอระเหยทางเคมีประมาณ 500-1200^{o}C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงเพียงพอต่อการแตกตัวของแก๊สแอมโมเนีย โดยที่การเจืออะตอมไนโตรเจนในท่อนาโนคาร์บอนจะเกิดพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนและไนโตรเจน C-N เกิดขึ้น เกิดพันธะแบบ sp และ sp^3 [12] ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนโค้งงอ [13] และมีความบกพร่องในรูปปล้องไฝเพิ่มมากขึ้น [14] เนื่องจากอะตอมของไนโตรเจนที่เจือจะทำการแทรก

ตัวในโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน ทำให้โครงสร้างของท่อมีรูปแบบที่แตกต่างไปจากท่อนาโนคาร์บอนแบบปกติ ผลจากปัจจัยเหล่านี้ ทำให้เกิดความสนใจที่จะศึกษาสมบัติการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอน เมื่อมีการเติมอะตอมต่างๆ ในท่อนาโนคาร์บอน และศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้น

2.2 โครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอน

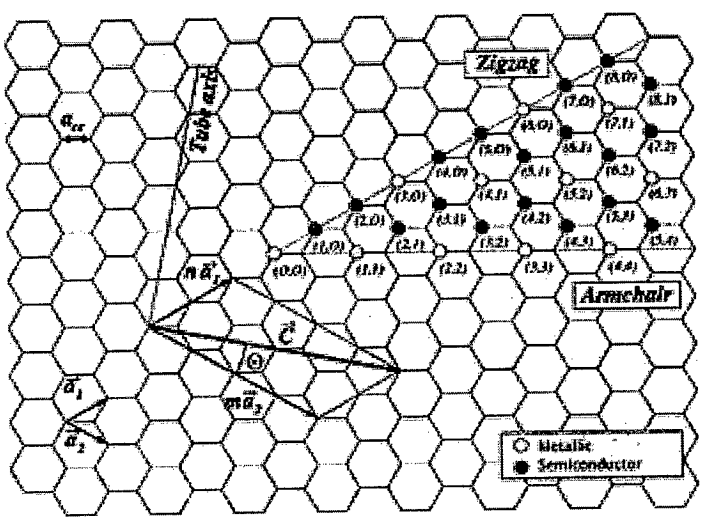
ท่อนาโนคาร์บอน เป็นวัสดุที่ประกอบมาจากอะตอมของธาตุคาร์บอนและมีโครงสร้างอยู่ในระดับ นาโน ซึ่งท่อนาโนคาร์บอนสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.ท่อนาโนคาร์บอน แบบผนังชั้นเดียว (Single Walled Nanotubes, SWNTs) เป็น ท่อนาโนคาร์บอน ที่ประกอบด้วยชั้นของคาร์บอนเพียง 1 ชั้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ Armchair (n,n), Zigzag (n,0) และ Chiral (n,m) โดยที่ค่าดัชนี (n,m) จะเป็นตัวบ่งบอกรูปแบบของการจัดตัวว่าจะเป็นท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวในรูปแบบใด สามารถอธิบายได้ด้วยเวกเตอร์ $\vec{C}$

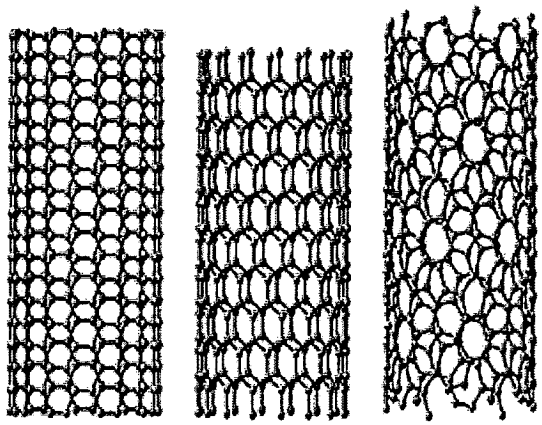
$$\vec{C} = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2$$

$$|n-m| = 3q,\ q \neq 0,\ metallic$$

$$|n-m| = 3q \pm 1,\ q \neq 0,\ semiconduting$$

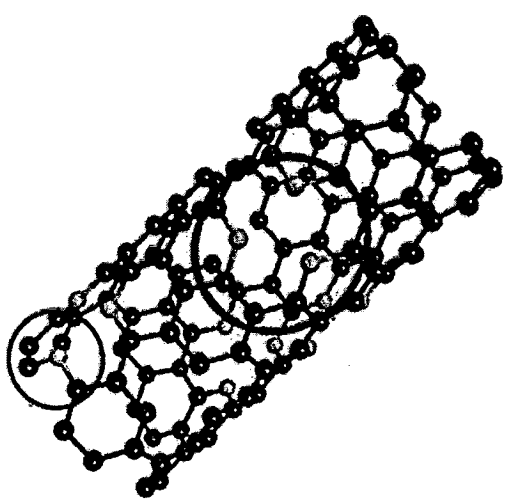


รูปที่ 2.1 แสดงภาพของเวกเตอร์ $\vec{C}$
เมื่อ a_1 และ a_2 เป็นเวกเตอร์ lattice ของแกรไฟต์ [15]



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของ ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวที่โครงสร้างต่าง ๆ [16]
Armchair (n,n), Zigzag (n,0), Chiral (n,m)

กรณีท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวอยู่ในรูปแบบของ Armchair ค่าดัชนี n จะมีค่าเท่ากับ m หรือ (n=m) โดยขนาดของมุมมีค่าเท่ากับ 30^0 ในส่วนของรูปแบบ Zigzag ค่าดัชนี m มีค่าเท่ากับ 0 หรือ (n,0) โดยขนาดของมุมมีค่าเท่ากับ 0^0 และรูปแบบของ Chiral จะจัดเรียงตัวในรูปแบบ (n,m) โดยขนาดของมุมมีค่าเท่ากับ $\theta = \tan^{-1}\left[\frac{\sqrt{3}m}{(m+2n)}\right]$ ในรูปที่ 2.3 แสดงในกรณีที่ท่อนาโนคาร์บอนถูกเจือด้วยอะตอมของไนโตรเจน เกิดการแทรกตัวของอะตอมไนโตรเจนแทนอะตอมของคาร์บอนเดิม ทำให้เกิดความบกพร่องบริเวณโครงสร้างของผนังท่อนาโนคาร์บอนขึ้น



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของ ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังชั้นเดียวที่มีอะตอมของไนโตรเจนแทรกบริเวณผนังท่อ [17]

2.ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (Multiple Walled Nanotubes, MWNTs) เป็นท่อนาโนคาร์บอนที่ประกอบด้วยชั้นของคาร์บอนซ้อนกันหลายๆชั้น

2.3 เทคนิคการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอน

การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งวิธีการสังเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

1.วิธีอาร์คดิสชาร์จ (Arc Discharge)

การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีอาร์คดิสชาร์จนั้นสามารถทำได้โดยนำแท่งแกรไฟต์สองแท่งเพื่อใช้สำหรับทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า โดยที่ระยะห่างระหว่างแท่งแกรไฟต์ทั้งสองมีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อยฮีเลียมหรืออาร์กอน จากนั้นใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าระหว่าง 50-120mA โดยใช้ศักย์ที่ค่าประมาณ 30V ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนสูงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองเป็นผลทำให้เกิดสถานะพลาสมา(>3000^{0}C) ส่งผลทำให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนบริเวณตรงกลางขั้วแท่งแกรไฟต์ที่ต่อกับขั้วลบ โดยที่ขนาดและความยาวของท่อสามารถควบคุมได้ด้วยอุณหภูมิและความสม่ำเสมอของสถานะของพลาสมา

2.วิธีระเหยด้วยแสงเลเซอร์ (Laser Ablation)

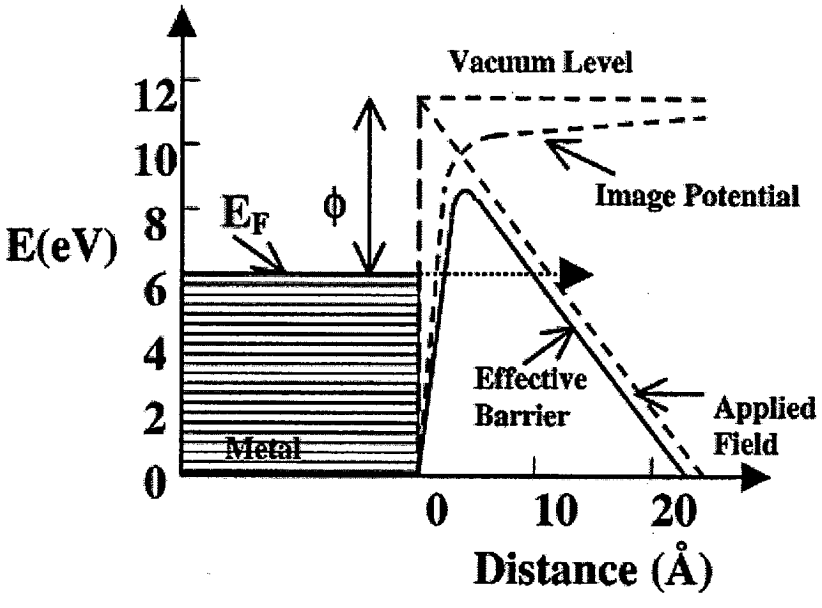
การสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีนี้ทำโดยใช้แสงเลเซอร์ยิงไปยังที่เป้าของคาร์บอน ทำให้กลายเป็นไอระเหย โดยที่ไอระเหยของคาร์บอนจะถูกทำให้เย็นตัวทันทีภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย เช่น ฮีเลียม ส่งผลทำให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนขึ้น ซึ่งทั้งวิธีอาร์คดิสชาร์จและวิธีระเหยด้วยแสงเลเซอร์ ทำให้ได้ท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเป็นระเบียบสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ

3.วิธีการตกเคลือบไอระเหยทางเคมี (Chemical Vapor Deposition)

วิธีการตกสะสมไอสารเคมีเป็นวิธีที่ใช้สังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนโดยให้ความร้อนกับแก๊สไฮโดรคาร์บอนซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน เช่น อะเซทีลีน (C_2H_2) เอทีลีน (C_2H_4) เป็นต้น ซึ่งความร้อนจะทำให้แก๊สไฮโดรคาร์บอนแตกตัวลงบนวัสดุรองรับที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) และ เหล็ก (Fe) ทำให้เกิดท่อนาโนคาร์บอนบนโลหะตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีนี้ทำให้ได้ปริมาณมาก และสามารถควบคุมขนาดและความยาวของท่อนาโนคาร์บอนได้อีกด้วย

2.4 การปลดปล่อยอิเล็กตรอนของ ท่อนาโนคาร์บอน

แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนมีส่วนสำคัญต่อการนำใช้ในการแสดงผลข้อมูลในยุคปัจจุบัน โดยส่วนใหญ่มักใช้กลไกของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนด้วยความร้อน (hot cathodes) แต่เนื่องจากกลไกการควบคุมการปลดปล่อยอเล็กตรอนเป็นกลไกที่มาจากผลทางกลศาสตร์ควอนตัม ดังนั้นภายใต้สนามไฟฟ้าภายนอกที่สูงพอ อิเล็กตรอนที่อยู่บริเวณใกล้ระดับพลังงานเฟอร์มิ (Fermi level) สามารถทะลุผ่านกำแพงพลังงานศักย์สู่ระดับสุญญากาศเป็นอิเล็กตรอนอิสระได้ เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยอิเล็กตรอนด้วยวิธีการให้ความร้อน กลไกการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของวัตถุภายใต้สนามไฟฟ้าเชื่อว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ เพราะไม่มีผลของความร้อนเกิดขึ้นและกระแสการปลดปล่อยอิเล็กตรอนสามารถควบคุมโดยสนามไฟฟ้าจากภายนอก การอธิบายด้วยฟิสิกส์พื้นฐานของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนภายใต้เงื่อนไขของความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากผิวโลหะโดยสมการ Fowler-Nordheim โดยใช้กลไกทางกลศาสตร์ควอนตัมของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านกำแพงศักย์ภายใต้การจ่ายสนามไฟฟ้าภายนอกในระบบสุญญากาศดังรูปที่ 2.3 กำแพงศักย์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นกับระยะห่างระหว่างผิวโลหะกับปลายขั้วไฟฟ้าอีกด้าน



รูปที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมของพลังงานศักย์กับผลของสนามไฟฟ้าภายนอกที่มีต่อกำแพงพลังงานสำหรับการหลุดของอิเล็กตรอนในผิวโลหะ [5]

การศึกษาสมบัติการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอน ได้รับความสนใจในการที่จะศึกษาถึงรายละเอียดของการปลดปล่อยอิเล็กตรอน เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นในหลายๆ อย่างรวมกัน ทั้งสมบัติทางไฟฟ้า เคมี และเชิงกล ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนมีสมบัติการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่ดี เนื่องจากมีลักษณะรูปทรงของท่อและอัตราส่วนระหว่างความยาวท่อต่อรัศมีของ

ท่อที่สูง จากการศึกษาผลการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น ผลการปลดปล่อยอิเล็กตรอนบริเวณชั้นกราไฟต์ตามแนวทิศของสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง พบว่าท่อนาโนคาร์บอนสามารถปลดปล่อยกระแสอิเล็กตรอนได้ 0.1 ถึง 1 μA และจากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าท่อนาโนคาร์บอนสามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้ในปริมาณที่สูงและมีความเสถียรภาพ ซึ่งมีแนวโน้มที่สามารถนำท่อนาโนคาร์บอนไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมได้ แต่ผลการศึกษาของข้อมูลที่ได้ยังไม่ชัดเจนถึงปัจจัยที่ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนมีสมบัติของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่แตกต่างกัน ได้มีงานวิจัยพยายามศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการปลดปล่อยอิเล็กตรอนดังกล่าว เช่น ปัจจัยจาก โครงสร้าง เส้นผ่านศูนย์กลาง พื้นผิว การเรียงตัว และ ความหนาแน่นของท่อนาโนคาร์บอน เป็นต้น

ขณะเดียวกันได้มีกลุ่มนักวิจัยสนใจผลของการเติมอะตอมบางชนิดในท่อนาโนคาร์บอนเพื่อปรับเปลี่ยนปริมาณของแถบพลังงาน ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแต่ละสถานะ และระดับพลังงานเฟอร์มิของท่อนาโนคาร์บอนให้เหมาะสม ดังนั้นการเติมอะตอมของธาตุหมู่ 5 เช่น ไนโตรเจน เป็นแนวทางหนึ่งของการเปลี่ยนสมบัติทางอิเล็กทรอนิกของท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งอะตอมของไนโตรเจนสามารถจะถูกแทนที่ในโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนได้หลายรูปแบบ เช่น กรณีการแทรกตัวของอะตอมไนโตรเจนถูกแทนที่ในตำแหน่งของอะตอมคาร์บอนในชั้นกราไฟต์ (gN) การแทนที่ของไนโตรเจนในหน่วยโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล ของวงแหวนคาร์บอน (pN) หรือกรณีที่ไนโตรเจนเกิดพันธะกับคาร์บอนปราศจากการแทนที่ จากข้อมูลที่ได้มีการศึกษาและกล่าวถึงการเติมไนโตรเจนในท่อนาโนคาร์บอนยังไม่ชัดเจน ยังไม่สามารถระบุจำนวนของไนโตรเจนที่เติมมีปริมาณเท่าไร จึงทำให้มีผลต่อการการเปลี่ยนสมบัติการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่ดี

2.5 ประโยชน์ของท่อนาโนคาร์บอน สำหรับเป็นแหล่งปลดปล่อยอิเล็กตรอน

จากผลของการศึกษาสมบัติของ ท่อนาโนคาร์บอน ที่ผ่านมา [5,6] สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้านอันได้แก่ เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน หรือเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับแก๊สต่างๆ รวมทั้งตัวปลดปล่อยอิเล็กตรอน สมบัติที่โดดเด่นในการปลดปล่อยอิเล็กตรอนของท่อนาโนคาร์บอนนำไปสู่การเป็นวัสดุตัวเลือกที่สำคัญต่อการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์เป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน เช่น จอแสดงผล หลอดรังสีเอกซ์และอุปกรณ์กำเนิดแสงสว่าง เป็นต้น เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนใช้สนามไฟฟ้าในการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่ต่ำ มีขนาดเล็ก และปริมาณการปลดปล่อยอิเล็กตรอนต่อพื้นที่ที่สูง ซึ่งในอนาคตน่าจะเป็นวัสดุตัวเลือกที่สำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นตัวปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่มีประสิทธิภาพสูง