**Thesis Title** Electrical Properties of Carbon Nanotubes and Carbon Nanotube Composites

**Author** Mr. Naratip Songmee

**Degree** Doctor of Philosophy (Materials Science)

**Thesis Advisory Committee** Assoc. Prof. Dr. Pisith Singjai Advisor

Asst. Prof. Dr. Supab Choopun Co-advisor

Asst. Prof. Dr. Anucha Watcharapasorn Co-advisor

## ABSTRACT

In this study, carbon nanotubes (CNTs) and CNT composite materials were investigated for understanding of the synthesis condition and their electrical properties. The study was divided into four sections. Firstly, a study of the synthesis of single-walled carbon nanotubes (SWNTs) on a quartz substrate by chemical vapor deposition (CVD) method and using ethanol as a carbon source was carried out. The substrate was prepared by a dip-coat method and Co was used as a catalyst. SWNTs were synthesized at temperatures of 700 and 750 °C under a pressure of 10 Torr for 30 min. Characterizations of the as-grown product were performed by scanning electron

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

microscopy (SEM) and Raman spectroscopy. The results showed that the product was SWNT bundles. Radial breathing mode (RBM) peaks showed that SWNTs have a diameter in the range of 0.9 to 1.5 nm. Moreover, an intensity ratio of the D-band (1350 $cm^{-1}$) and the G-band (1590 $cm^{-1}$) ($I_D$ / $I_G$) was approximately 0.1 which confirmed a high purity SWNTs obtained. Resistance measurement at various temperatures showed that the synthesized SWNT bundles were of semiconductor type.

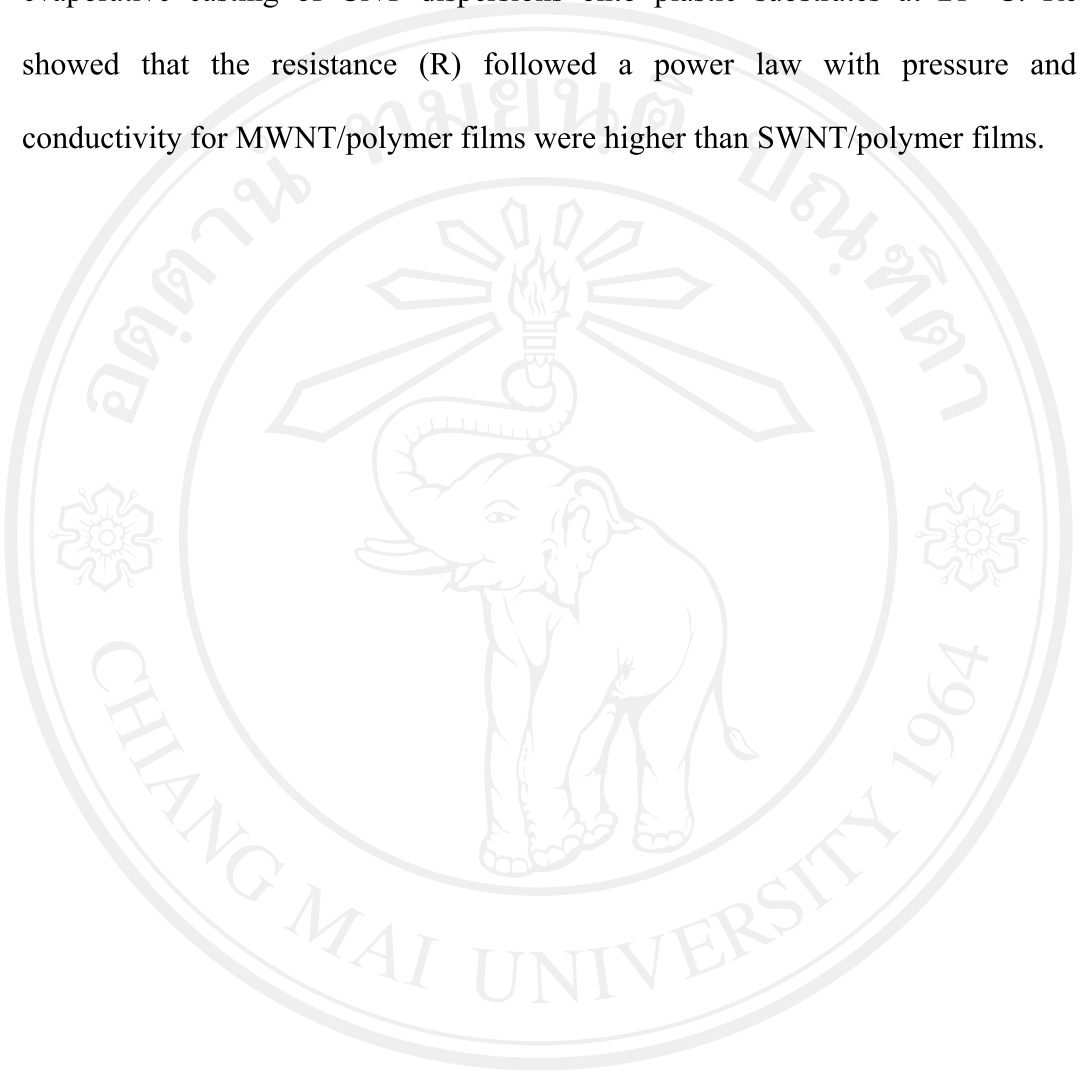
Secondly, SWNTs were synthesized on a quartz substrate by CVD method and using *n*-hexane as a carbon source. The substrates were coated with Co catalyst by a dip-coat method. The growth was then carried out at 650-800 °C at a pressure in the range of 5-20 Torr for 30 min. SEM and Raman spectroscopy were used to characterize the as-grown samples. It was found that the diameter of SWNTs increased with increasing growth pressure.

Thirdly, electrical properties of SWNT-GNP hybrid structures prepared by CVD method and using ethanol as a carbon source were investigated. The GNP coated quartz substrates were coated with Co catalyst by a dip-coat method. The growth was then carried out at 800 °C under a pressure of 10 Torr for 30 min. Characterizations have shown larger SWNT diameters with higher negative temperature coefficients for GNP coated substrates as compared to those of quartz substrates without GNPs. It was attributed to SWNT-GNP hybrid structures having a higher fraction of semiconductor-type pathways.

Finally, studies of electrical properties of CNT/polymer films were performed. MWNTs and SWNTs were dispersed in 3 types of natural polymers, Xanthan gum, Gellan gum and Triton X-100 solutions. The composite films were prepared by

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

evaporative casting of CNT dispersions onto plastic substrates at 21 ºC. Results showed that the resistance (R) followed a power law with pressure and the conductivity for MWNT/polymer films were higher than SWNT/polymer films.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์** | สมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอน และวัสดุผสมท่อนาโนคาร์บอน | |
| **ผู้เขียน** | นายนราธิป สงมี | |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วัสดุศาสตร์) | |
| **คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | รศ. ดร. พิศิษฐ์ สิงห์ใจ | อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก |
| | ผศ. ดร. สุภาพ ชูพันธ์ | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |
| | ผศ. ดร. อนุชา วัชระภาสร | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาเงื่อนไขในการสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนและวัสดุผสมท่อนาโนคาร์บอน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสี่ส่วนคือ ส่วนแรกทำการศึกษาการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียว ด้วยกระบวนการตกสะสมไอเคมีโดยใช้เอทานอลเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน เริ่มต้นโดยการเตรียมคะตะลิสต์ด้วยการนำชิ้นงานที่เป็นควอตซ์ไปผ่านกระบวนการจุ่มเคลือบ (dip-coat) ด้วยคะตะลิสต์โคบอลต์ ต่อมาทำการสังเคราะห์ท่อ

นาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 700 และ 750 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 10 ทอร์ ชิ้นงานได้ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องรามาน พบว่าผลผลิตที่ได้เป็นมัดของท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.9 ถึง 1.5 นาโนเมตร นอกจากนั้นพบว่าอัตราส่วนความเข้มของ D-band (1350 $cm^{-1}$) และ G-band (1590 $cm^{-1}$) ($I_D$ / $I_G$) มีค่าประมาณ 0.1 ซึ่งเป็นการยืนยันว่าผลผลิตเป็นท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวที่มีความบริสุทธิ์สูง ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิพบว่ามัดของท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวเป็นสารกึ่งตัวนำ

ส่วนที่สอง สังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวด้วยกระบวนการตกสะสมไอเคมีโดยใช้เอ็น-เฮกเซน (*n*-hexane) เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอน เริ่มต้นโดยการเตรียมคะตะลิสต์ด้วยการนำชิ้นงานที่เป็นควอตซ์ไปผ่านกระบวนการจุ่มเคลือบด้วยคะตะลิสต์โคบอลต์ ต่อมาทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 650 ถึง 800 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 5 ถึง 20 ทอร์ โดยใช้เวลา 30 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องรามานพบว่าผลผลิตที่ได้เป็นมัดของท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียว โดยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดันที่ใช้สังเคราะห์

ส่วนที่สาม ทำการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุผสมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียว กับอนุภาคนาโนของทองโดยสังเคราะห์ด้วยกระบวนการตกสะสมไอเคมี เริ่มต้นโดยการนำชิ้นงานควอตซ์ที่มีอนุภาคนาโนของทองเคลือบอยู่ ไปผ่านกระบวนการจุ่มเคลือบด้วยคะตะลิสต์โคบอลต์ ต่อมาทำการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของเอทานอลที่ความดัน 10 ทอร์ โดยใช้เวลา 30 นาที ผลการวิเคราะห์พบว่าชิ้นงานที่ประกอบด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุผสมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวกับอนุภาคนาโนของทองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนคาร์บอนใหญ่กว่า และมีค่าความต้านทานที่แปรผันแบบผกผันกับอุณหภูมิ ดังนั้นชิ้นงานที่มีวัสดุผสมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวกับอนุภาคนาโนของทอง มีสัดส่วนของท่อนาโนคาร์บอนชนิดกึ่งตัวนำสูงกว่าชิ้นงานที่มีแต่ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียว

ส่วนสุดท้าย ดำเนินการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มวัสดุผสมท่อนาโนคาร์บอนกับพอลิ-เมอร์จากธรรมชาติ 3 ชนิด เตรียมฟิล์มโดยผสมท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น และท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวกับสารละลาย แซนแทนกัม, เจลแลนกัม และไตรตันเอ๊กซ์ 100 ในน้ำ จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ค่อยๆหยดลงในภาชนะพลาสติกและทิ้งให้ระเหยอย่างช้าๆที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม (R) ขึ้นอยู่กับค่าความดันที่กระทำต่อแผ่นฟิล์ม โดยมีความสัมพันธ์แบบกฎยกกำลัง (power law) และพบว่า ค่าสภาพนำไฟฟ้าของฟิลม์วัสดุผสมของท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้นกับพอลิเมอร์ มีค่าสูงกว่าของฟิลม์วัสดุผสมของท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวกับพอลิเมอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved