บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากความต้องการเครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กลงมากๆ และมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น ดังนั้นวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงจึงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญทางด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากว่าวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญต่างๆ ดังเช่น ตัวเก็บประจุ (capacitor) และสิ่งประดิษฐ์ความจำ (memory device) โดยค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุจะเป็นปัจจัยหลักในการลดขนาดและคงประสิทธิภาพของอุปกรณ์เหล่านี้ได้ โดยทั่วไปวัสดุที่มีค่าไดอิเล็กตริกสูงหรือที่เรียกว่า “ไจแอนท์ไดอิเล็กตริก” จะมีอยู่หลายกลุ่มด้วยกันแต่ที่ได้รับความสนใจและทำการศึกษากันอย่างต่อเนื่อง คือ วัสดุ แคลเซียมคอปเปอร์ไททาเนต ($CaCu_3Ti_4O_{12}$, CCTO) [1], นิเกิลออกไซด์เจือลิเทียมไททาเนียม ($Li_xTi_yNi_{1-x-y}O$, LTNO) [2, 3] และคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) [4, 5] ในบรรดาวัสดุไจแอนท์ไดอิเล็กตริกที่ได้กล่าวถึงมาแล้วนั้น CCTO เป็นวัสดุไจแอนท์ไดอิเล็กตริกที่ได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษและมีรายงานการวิจัยอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีโครงสร้างแบบเพอรอฟส์ไกต์ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงมาก ประมาณ 10^4 (ที่อุณหภูมิห้องและในช่วงค่าความถี่ต่ำกว่า 1 กิโลเฮิรตซ์) และที่สำคัญค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของ CCTO มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิ 173-325 $^{\circ}$C ตามรายงานการวิจัยครั้งแรกโดยกลุ่มของ Subramanian (2000) [1] นอกจากนี้ CCTO ยังเป็นวัสดุที่ไม่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ (lead-free) จากคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกที่เป็นเลิศดังกล่าวนี้ทำให้ CCTO เป็นวัสดุไดอิเล็กตริกที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในด้านของการวิจัยพื้นฐานและการนำไปประยุกต์ใช้งาน [6] อย่างไรก็ตามจากรายงานการวิจัยเกี่ยวกับวัสดุ CCTO ที่ผ่านมาพบว่า ค่าแทนเจนต์การสูญเสีย ($\tan\delta$) ของวัสดุ CCTO ที่เตรียมได้ยังมีค่าที่สูงอยู่มากประมาณ 0.20-0.40 ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานจริง ในอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งค่าแทนเจนต์การสูญเสียต้องน้อยกว่า 0.05 จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาการศึกษาผลของการเติมสารเจือต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแทนเจนต์การสูญเสีย ($\tan\delta$) ในวัสดุ CCTO ส่วนใหญ่ เป็นการเตรียม ด้วยวิธีปฏิกิริยาแบบของแข็งซึ่งต้องใช้อุณหภูมิในการเผาผนึก (calcined) สูง และใช้เวลาในการเตรียมนานมาก เพื่อให้สารเจือเข้าไปแทนที่องค์ประกอบหลักของ CCTO อีกทั้งยังการเตรียมวัสดุ CCTO ด้วยวิธีสารละลายยังมีไม่มากนัก [10-11] และเมื่อไม่นานมานี้มีรายงานการศึกษาผลของสารเจือ ในตำแหน่งของ ไททาเนียม (Ti) และตำแหน่งของ แคลเซียม (Ca) จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าการเจือสารเข้าไปในตำแหน่งของ Ti นั้นทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกนั้นมีค่ามากขึ้น และขึ้นอยู่กับขนาด

ของเกรน ส่วนสารที่เจือเข้าไปในตำแหน่ง Ca นั้นทำให้ค่าแทนเจนต์การสูญเสีย (tanδ) นั้นลดลง เนื่องจากสารเจือที่เข้าไปนั้นเข้าไปเพิ่มความต้านทานให้กับขอบเกรน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อเตรียมผงวัสดุ CCTO โดยการเพิ่มปริมาณ Ti จากองค์ประกอบเดิมเป็น Ca:Cu:Ti:O เป็น 1:3:4 (CCTO) เป็น 1:3:4.35 ($CCT_{0.35}O$) แล้วเตรียม $CCT_{0.35}O$ เจือด้วย Pr, Sr และ Sn ที่ตำแหน่ง Ca และ Ti ในปริมาณ 0.00, 0.03 และ 0.06 เปอร์เซนต์โดยโมล โดยวิธีโพลิเมอร์ไพโรไรซีส (Polymer pyrorysis method) ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของผลที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X-rays diffraction, XRD), ศึกษาโครงสร้างของผงวัสดุที่เตรียมได้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิสชัน (Transmission Electron Microscopy, TEM), ศึกษาภาพถ่ายเชิงลึกด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM-EDX) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าแทนเจนต์การสูญเสีย (tanδ) ของวัสดุ $CCT_{0.35}O$ และวัสดุ $CCT_{0.35}O$ ที่เจือด้วย Sr, Pr และ Sn ที่อุณหภูมิห้อง และศึกษาสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างกระแสและความต่างศักย์ (Non linear Properties) ของวัสดุที่เตรียมได้

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เตรียมผงวัสดุ $CCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}O$ เจือด้วย Pr ($CPrCT_{0.35}O$), Sr ($CSrCT_{0.35}O$), Sn ($CCT_{0.35}SnO$) โดยวิธีสารละลายโพลิเมอร์ไพโรไลซีส

2.2 ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของผงและวัสดุด้วย เทคนิค XRD, TEM-EDS และศึกษาภาพถ่ายด้วยเทคนิค SEM-EDS

2.3 ศึกษาผลของ Ti ที่เพิ่มขึ้นและผลของสารเจือ Pr, Sr และ Sn ต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่า tanδ

2.4 ศึกษาผลของ Ti ที่เพิ่มขึ้นและผลของสารเจือ Pr, Sr และ Sn ต่อความไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างค่ากระแสและความต่างศักย์ (I-V curve) ในวัสดุที่เตรียมได้

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 เตรียมผงวัสดุ $CCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}O$ เจือด้วย Pr ($CPrCT_{0.35}O$), Sr ($CSrCT_{0.35}O$), Sn ($CCT_{0.35}SnO$) โดยวิธีสารละลายโพลิเมอร์ไพโรไลซีส

3.2 เผาแคลไซด์ผงวัสดุ $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$, $CSrCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}SnO$ ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$) โดยใช้เวลา 9 ชั่วโมง (h)

3.3 ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของเม็ดและผงวัสดุที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค XRD, TEM-EDS และ SEM-EDS

3.4 เตรียมเม็ดวัสดุ $CCT_{0.35}O$, $CPrCT_{0.35}O$, $CSrCT_{0.35}O$ และ $CCT_{0.35}SnO$ และเผาผนึก (sintered) ที่อุณหภูมิ 1060 องศาเซลเซียส (^{o}C) โดยใช้เวลา 6 และ 10 ชั่วโมง (h)

3.5 ศึกษาผลการเปลี่ยนค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่าการสูญเสีย (tanδ) ที่อุณหภูมิห้อง และความถี่ 100 Hz-1 MHz

3.6 ศึกษาผลความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear current voltage) ในวัสดุที่เตรียมได้

4. นิยามศัพท์

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี รวมถึงผลของเวลาที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า ดังนั้น จึงมีนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยดังนี้

สัญลักษณ์	ความหมาย (ไทย)	ความหมาย (อังกฤษ)
A	พื้นที่หน้าตัดแผ่นเพลต	The plate capacitor of area
Z^*	อิมพิเดนซ์เชิงซ้อน	The complex impedance
Z'	ส่วนจริงของอิมพิเดนซ์	The real part of complex impedance
Z''	ส่วนจินตภาพของอิมพิเดนซ์	The imaginary part of complex impedance
β	ความกว้างที่ครึ่งหนึ่งของความสูง	The full width at half maximum
β_o	ความกว้างที่ครึ่งหนึ่งจาก X-ray	The widths from the observed X-ray
β_i	ความกว้างที่ครึ่งหนึ่งจากผลการวัด	The width due to instrumental effects
C^*	คาปาซิเทนเชิงซ้อน	The complex capacitance
C_g	คาปาซิเทนส่วนเกรน	The grain capacitance
C_{gb}	คาปาซิเทนส่วนขอบเกรน	The grain boundary capacitance
C_o	คาปาซิเทนสุญญากาศ	The vacuum capacitance
D	ขนาดผลึก	The crystallite size
d_{hkl}	ระยะห่างระหว่างระนาบ	The d-spacing
$\vec{E}$	สนามไฟฟ้า	The electric field
E_τ	พลังงานกระตุ้น	The activation energy
ε^*	สภาพะยอมไฟฟ้าเชิงซ้อน	The complex permittivity
ε'	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	The dielectric constant
ε''	ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริก	The dielectric loss
ε_o	ค่าสภาพะยอมของสุญญากาศ	The permittivity of free space $(8.8542\times10^{-14}F.cm^{-1})$
d_s	ความหนาของตัวอย่าง	The thickness of the sample

I	กระแสไฟฟ้า	The current
k	ค่าคงที่ของโบลซ์มาน	The Boltzmann constant $(1.38\times10^{-23}J/K)$
R_{gb}	ความต้านทานขอบเกรน	The grain boundary resistance
R_g	ความต้านทานเกรน	The gain resistance
σ	ค่าสภาพนำไฟฟ้า	The conductivity
α	สัมประสิทธ์ความเป็นเชิงเส้น	The nonlinear coefficient
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์	Temperature (Kelvin)
t	เวลา	Time
$\tan\delta$	ค่าเทนเจนต์การสูญเสีย	The dielectric loss tangent
τ	เวลาที่เกิดการผ่อนคลาย	The relaxation time

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Ti ต่อ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่า tanδ นอนโอห์มมิค และค่าความต้านทาน

5.2 ผลของสารเจือ Pr, Sr และ Sn ต่อ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ค่า tanδ นอนโอห์มมิค และค่าความต้านทาน

5.3 เป็นองค์ความรู้ ในการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับวัสดุไดอิเล็กตริกกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

5.4 นำเสนอหรือตีพิมพ์งานวิจัยระดับชาติ หรือนานาชาติ

5.5 เป็นการสร้างชื่อเสียงด้านการวิจัย ให้กับมหาวิทยาลัยฯ