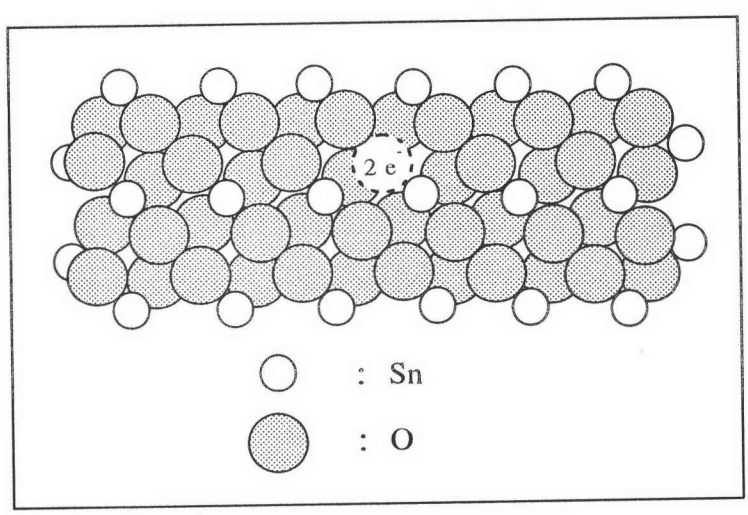
บทที่ 2

หลักการของหัววัดก๊าซ

โดยทั่วไปแล้วหัววัดก๊าซที่ทำจากสารกึ่งตัวนำจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้าในขณะที่ทำการตรวจวัดก๊าซ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการตอบสนองของหัววัดก๊าซชนิดนี้ คือ คุณสมบัติของขอบเกรน (grain boundary) และพื้นผิวของวัสดุที่ใช้ในหัววัดก๊าซ ทั้งนี้เนื่องมาจากการตอบสนองของหัววัดก๊าซจะเกิดขึ้นที่ผิวของหัววัดก๊าซ ดังนั้นจึงได้มีผู้วิจัยศึกษากระบวนการการตอบสนองที่เกิดขึ้นที่ผิว

หัววัดก๊าซที่ประดิษฐ์ขึ้นจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นสารกึ่งตัวนำที่เขียนสูตรมวลสารสัมพันธ์ไม่ได้ (non-stoichiometric) เช่น ดีบุกออกไซด์จะมีสูตรเป็น SnO_{2-x} ซึ่งลักษณะของโครงสร้างของผลึก SnO_{2-x} สามารถวาดได้ดังรูปที่ 2.1 จากรูปจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของผลึก SnO_{2-x} จะมีตำแหน่งของอนุภาคออกซิเจนที่หายไป ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับภายนอก โดยอิเล็กตรอนเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นพาหะอิสระ และจะเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงความนำไฟฟ้าของผลึกดีบุกออกไซด์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของผลึก SnO_{2-x}

จากปรากฏการณ์ข้างต้นสามารถอธิบายโดยใช้สมการเคมีได้ดังนี้ คือ ออกซิเจนจากบรรยากาศจะรับอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำ และจะดูดซับ (adsorb) ที่ผิวเกรนของสารกึ่งตัวนำในสภาพของไอออน ซึ่งสามารถแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ คือ

$$O_2 + 2\,e^- \rightarrow 2\,O^- \qquad (2.1)$$

ทำให้ที่ผิวเกรนของสารกึ่งตัวนำจะถูกปกคลุมด้วยชั้นไอออนของออกซิเจน กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดกำแพงพลังงานศักย์ (potential barrier) ขึ้นที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ หากในอากาศขณะนั้นประกอบด้วยก๊าซรีดิวซ์ (RH_2) ก๊าซรีดิวซ์ในอากาศจะถูกดูดซับที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ และส่งอิเล็กตรอนให้แก่สารกึ่งตัวนำ ดังสมการ (2.2) คือ

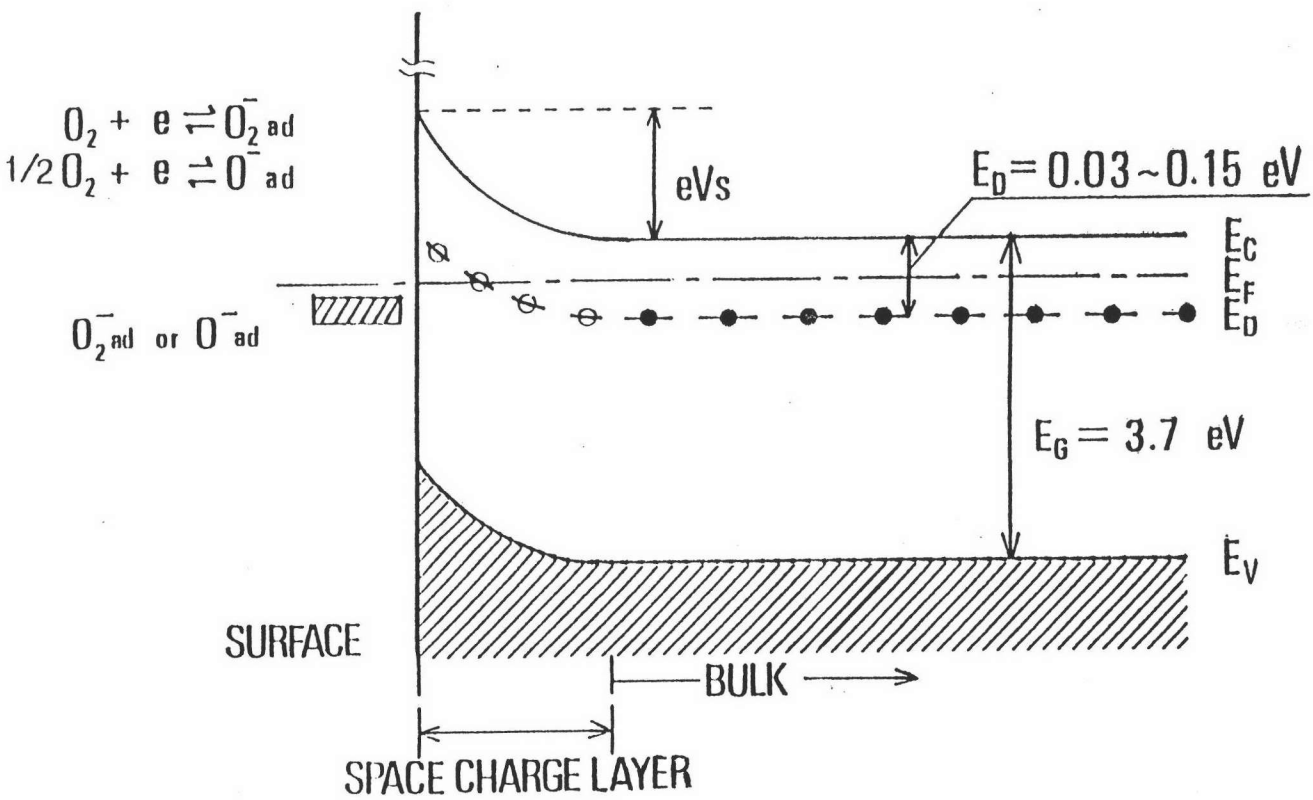
$$RH_2 + 2O^- \rightarrow RO + H_2O + 2\,e^- \qquad (2.2)$$

เนื่องจากความสูงของกำแพงพลังงานศักย์นั้น พิจารณาได้จากปริมาณของประจุที่ถูกแลกเปลี่ยนค่าความนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำจึงสามารถพิจารณาได้จากความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยากาศ โดยถ้าในบรรยากาศไม่มีก๊าซรีดิวซ์ (reducing gas) เป็นองค์ประกอบ จะทำให้จำนวนอิออนของออกซิเจนมีปริมาณมากส่งผลให้ความต้านทานของสารกึ่งตัวนำมีค่าสูง ในทางกลับกันหากมีก๊าซรีดิวซ์มาก จะส่งผลให้ความต้านทานของสารกึ่งตัวนำลดลง

นอกจากการศึกษาการตอบสนองของสารกึ่งตัวนำด้วยการพิจารณาจากปฏิกิริยาทางเคมีแล้ว เรายังสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปแบบของแถบพลังงาน (energy band model) และรูปแบบของกำแพงพลังงานศักย์ระหว่างเกรน (model of inter-grain potential barrier) ดังนี้

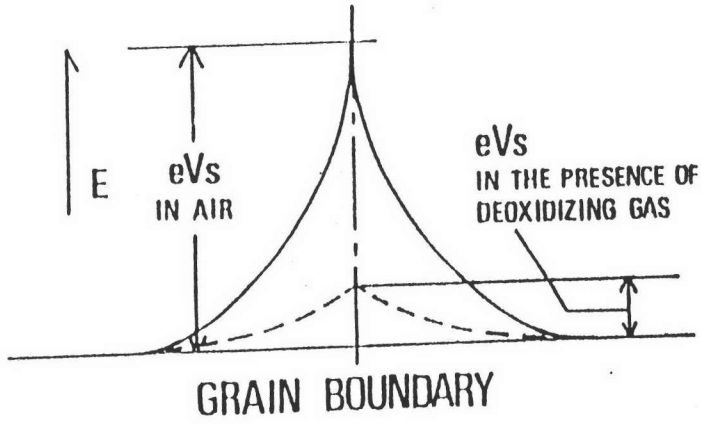
1. รูปแบบของแถบพลังงาน รูปที่ 2.2 แสดงแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ SnO_{2-x} เนื่องจากโครงสร้างพลังงานของผลึกขึ้นกับองค์ประกอบของก๊าซในอากาศและอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อผลึกของดีบุกออกไซด์ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในอากาศ ก๊าซออกซิเจนจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของผลึก และอิเล็กตรอนจากผลึกจะถ่ายเทไปยังออกซิเจนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิว เหลือทิ้งไว้แต่ประจุบวกในบริเวณปลอดพาหะ (space charge region) จากผลของสนามไฟฟ้าในย่านดังกล่าว ทำให้แถบพลังงานเบนสูงขึ้นที่ผิวของผลึก ซึ่งพลังงานศักย์ที่ผิวนี้จะทำให้ความหนาแน่น

ของอิเล็กตรอนในผลึกลดลง ส่งผลให้ค่าความนำไฟฟ้าของผลึกลดลง และเมื่อสารกึ่งตัวนำสัมผัสกับก๊าซรีดิวซ์ ก๊าซที่ถูกดูดซับจะถ่ายเทอิเล็กตรอนให้แก่ผลึก ทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของผลึกมีค่าสูงขึ้น

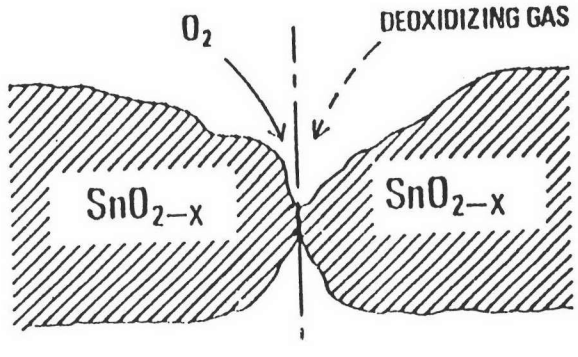


รูปที่ 2.2 แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ SnO_{2-x}

2. **รูปแบบของกำแพงพลังงานศักย์ระหว่างเกรน** รูปที่ 2.3 ก แสดงระดับพลังงานระหว่างเกรนของ SnO_{2-x} และรูปที่ 2.3 ข แสดงโครงสร้างระหว่างเกรนของ SnO_{2-x} ในระดับจุลภาค เมื่อเราป้อนศักย์ไฟฟ้าให้แก่ SnO_{2-x} จะมีกระแสไฟฟ้าไหลทะลุผ่านรอยต่อระหว่างเกรนของผลึก ที่ส่วนรอยต่อนี้เมื่อมีออกซิเจนดูดซับจะทำให้เกิดสร้างกำแพงพลังงานศักย์ขึ้น เพื่อกั้นการไหลของพาหะอิสระ ผลของกำแพงพลังงานศักย์นี้ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของ SnO_{2-x} มีค่าสูงขึ้น และเมื่อ SnO_{2-x} สัมผัสกับก๊าซ ก๊าซรีดิวซ์จะถูกดูดซับที่ผิวของ SnO_{2-x} ทำให้ความหนาแน่นของประจุลบที่ผิวของ SnO_{2-x} ลดลง ส่งผลให้ค่าความสูงของกำแพงพลังงานศักย์ระหว่างเกรนลดลง ค่าความต้านทานไฟฟ้าของ SnO_{2-x} จึงมีค่าลดลงตาม



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 (ก) ระดับพลังงานระหว่างเกรนของ SnO_{2-x}
(ข) โครงสร้างระหว่างเกรนของ SnO_{2-x} ในระดับจุลภาค