บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการฝังไอออน (ion implantation) มาใช้ในการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุอย่างกว้างขวาง การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นผลมาจากหลายกระบวนการที่สืบเนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานจลน์ของไอออนให้แก่อะตอมที่เป็นเป้า (target atom) กล่าวคือ เมื่อไอออนที่มีพลังงานสูงพุ่งเข้าชนผิววัสดุจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานให้แก่อะตอมที่เป็นเป้าใน 2 ลักษณะ คือ การกระตุ้นอิเล็คตรอน (electronic excitation) ซึ่งเกิดขึ้นขณะที่ไอออนมีพลังงานสูง เมื่อไอออนเคลื่อนที่ได้ในระยะทางที่ใกล้เคียงกับพิสัยสูงสุด (range) ของมันจะมีการถ่ายทอดพลังงานโดยการชนกับนิวเคลียส (nuclear collision) อันตรกิริยาเหล่านี้ก่อให้เกิดตำหนิ (defect) ขึ้นในโครงสร้างของวัสดุ (Henderson, 1972; Hayes and Stoneham , 1985)

โดยทั่วไประยะทางที่ไอออนเคลื่อนที่ได้ในวัสดุหรือพิสัยจะอยู่ในช่วงไมโครเมตร ขึ้นอยู่กับพลังงานและชนิดของไอออนและวัสดุเป้า ดังนั้นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการฝังไอออนมากที่สุดก็คือชั้นบาง ๆ ที่ผิวของวัสดุที่เรียกว่า sub-surface layer นั่นเอง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือองค์ประกอบบริเวณนี้สามารถทำให้สมบัติเชิงกล (mechanical property) เคมี (chemical property) ไฟฟ้า (electrical property) และแสง (optical property) เปลี่ยนไปได้

สมบัติเชิงกลที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยกระบวนการฝังไอออน ได้แก่ การสึกหรอ (wear) ความฝืด (friction) ความแข็ง (hardness) และการสึกกร่อน (abrasion) ซึ่งมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายในวัสดุที่เป็นโลหะ (Oñate et al., 1998; Vilaithong et al., 1998; Hayashi et al., 2000; Zhang et al., 2000) โดยทั่วไปพบว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ผ่านการฝังไอออนจะดีขึ้นกว่าเดิม ต่างกับสมบัติเชิงเคมีซึ่งได้แก่ ความต้านทานการกัดกร่อน (corrosion resistance) และ passivation ที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไปในทางลบได้ (Tsuganov et al., 2000; Zhang et al., 2000)

ในระยะเริ่มต้น กระบวนการฝังไอออนได้มีการพัฒนาขึ้น โดยมีจุดประสงค์เพื่อการเจือ (dope) สารกึ่งตัวนำเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงไฟฟ้า (Mayer et al., 1970; Holland et al., 1984) เช่น สภาพการนำไฟฟ้า (conductivity) หรือสภาพความต้านทาน (resistivity) การฝังไอออนนี้สามารถควบคุมปริมาณและการกระจายตัว (profile) ของสารเจือ (impurity) ได้ดีกว่าการทำ diffusion doping นอกจากนี้ยังสามารถฝังสารเจือต่างชนิดกันลงบน substrate เดียวกันโดยที่ไม่มีการรบกวนการกระจายตัวของกันและกันได้ด้วย

การดูดกลืนแสง (optical absorption) ดัชนีหักเห (refractive index) และสีของวัสดุก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการฝังไอออน Fukumi และคณะ (1995) ได้ทดลองฝัง Al^+ พลังงาน 200 กิโลอิเล็คตรอนโวลท์ลงบน silica glass พบว่าดัชนีหักเหของชิ้นงานเพิ่มขึ้น 6%-10% หลังจากถูกฝังด้วย Al^+ ที่โดส

$1x10^{17}$ ไอออน/ซม^2 การ anneal ชิ้นงานที่ฝังไอออนแล้วในอากาศทำให้ดัชนีหักเหที่เพิ่มขึ้นนั้นลดลงมาสู่ค่าเดิมก่อนที่จะฝังไอออน แต่ถ้า anneal ในบรรยากาศของ Ar ดัชนีหักเหของชิ้นงานจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอีก

Nakao และคณะ (1998) ได้ฝัง Cu^+, $Cu^+ + O^+$ และ $O^+ + Cu^+$ ลงใน silica glass แล้ววิเคราะห์การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร พบการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตรในชิ้นงานที่ฝังด้วย Cu^+ และ $Cu^+ + O^+$ ส่วนชิ้นที่ฝังด้วย $O^+ + Cu^+$ ไม่ปรากฏการดูดกลืนแสงแต่อย่างใด เมื่อนำชิ้นงานไป anneal แล้ววิเคราะห์การดูดกลืนแสงอีกครั้งหนึ่ง ในชิ้นงานที่ฝังด้วย Cu^+ มีการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตรสูงมาก นอกจากนี้ยังมีการดูดกลืนแสงในช่วง 300-400 นาโนเมตรด้วย ส่วนชิ้นงานที่ฝังด้วย $Cu^+ + O^+$ และ $O^+ + Cu^+$ นั้น เกิดการดูดกลืนแสงที่ 340, 450 และ 480 นาโนเมตรเหมือนกัน

Saito และคณะ (1991) ได้ฝัง Co^+ ด้วยโดส 5×10^{16}-5×10^{17} ไอออน/ซม^2 ที่พลังงาน 20 กิโลอิเล็คตรอนโวลท์ลงบนไพลินสังเคราะห์ (synthetic sapphire) ซึ่งไม่มีสี เมื่อนำไป anneal ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมงไพลินจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวและถ้า anneal ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ไพลินสีน้ำเงินอ่อน นอกจากนี้ Saito และคณะยังได้ทดลองฝัง Fe^+, Cu^+, Ti^+ และ Cr^+ ลงบนไพลินสังเคราะห์ ผลจากการฝังไอออนแล้ว anneal ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ทำให้ได้ไพลินสีต่าง ๆ จากสีน้ำเงินอ่อนไปจนถึงสีน้ำตาลเหลือบเหลือง

การทดลองฝัง Cu^+ พลังงาน 0.75-1.5 ล้านอิเล็คตรอนโวลท์ ด้วยโดส $1x10^{15}$-$1x10^{18}$ ไอออน/ซม^2 ลงบนไพลินสังเคราะห์โดย Miyano และคณะ (1991) ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่ 360 นาโนเมตร และการส่องผ่าน (transmittance) ของไพลินลดลงเมื่อโดสเพิ่มขึ้น เมื่อนำชิ้นงานไป anneal ที่อุณหภูมิ ในช่วง 400 -1000 องศาเซลเซียสพบว่ามีการคืนสภาพ (recovery) ของการส่องผ่านและการดูดกลืนแสงของชิ้นงานที่ anneal ที่ 1000 องศาเซลเซียสได้เลื่อนไปที่ 580 นาโนเมตร

การศึกษาเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่สามารถใช้ในการศึกษาตำหนิหรือการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและองค์ประกอบของวัสดุที่ถูกฝังด้วยไอออนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุจำพวกฉนวน ซึ่งตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนที่สุด ได้แก่ colour centre ใน alkali halide เนื่องจากการไอออนไนเซชัน (ionisation) ทำให้เกิดอิเล็คตรอนและโฮล (hole) ขึ้น ผลที่ตามมาก็คือการเกิดแถบของการดูดกลืนแสง (optical absorption band) และ charge trapping centre (Henderson, 1972; Townsend et al., 1994)

จากการทดลองเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงของวัสดุด้วยการฝังไอออนที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นน่าจะเป็นแนวทางในการนำมาประยุกต์ใช้กับอัญมณีประเภทคอรันดัม (corundum)ได้ เนื่องจากสมบัติเชิงแสงเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งของอัญมณ ได้มีการปรับปรุงสมบัติเชิงแสงของอัญมณีอย่างแพร่-

หลายมาเป็นเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทับทิมและไพลินซึ่งเป็นผลึกเดี่ยว (single crystal) ของ Al_2O_3 วิธีการที่ใช้กันมากก็คือ heat treatment และ diffusion

กระบวนการ heat treatment ได้ถูกนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนี้คือ (Nassau, 1984; Read, 1991) อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผา อัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ ชนิดของก๊าซและความดันก๊าซที่ใช้ในขณะเผา ตลอดจนภาชนะหรือสารเคมีที่สัมผัสกับผิวของอัญมณีขณะที่กำลังเผา แต่เนื่องจากอัญมณีในธรรมชาติที่แม้เป็นชนิดเดียวกันแต่มาจากคนละแหล่งก็ยังมีสารเจือปนที่แตกต่างกันออกไป การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อการทำ heat treatment จึงต้องอาศัยประสบการณ์เพื่อให้ได้ผลดีที่สุดและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น เงื่อนไขต่าง ๆ ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องมักจะถูกเก็บไว้เป็นความลับเพื่อผลประโยชน์ทางการค้า จึงมีการเปิดเผยหรือการศึกษาในเชิงวิชาการทางด้านนี้น้อยมาก

กรรมวิธีที่ใช้ปรับปรุงสมบัติเชิงแสงของคอรันดัมนั้น ยังไม่มีการศึกษากันอย่างจริงจังเกี่ยวกับกลไกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างระดับจุลภาค (microstructure) กระบวนการทางความร้อน หรือการเกิดตำหนิต่าง ๆ การจะพัฒนาอุตสาหกรรมอัญมณีจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการเพิ่มคุณภาพของอัญมณีประเภทคอรันดัมต่อไป

รายงานฉบับนี้กล่าวถึงการศึกษาการดูดกลืนแสงและการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของทับทิมสังเคราะห์และไพลินสังเคราะห์โดยการฝัง N^+ พลังงาน 120 กิโลอิเล็คตรอนโวลท์ด้วยโดสต่าง ๆ แล้วเปรียบเทียบกับทับทิมสังเคราะห์และไพลินสังเคราะห์ก่อนฝังไอออน