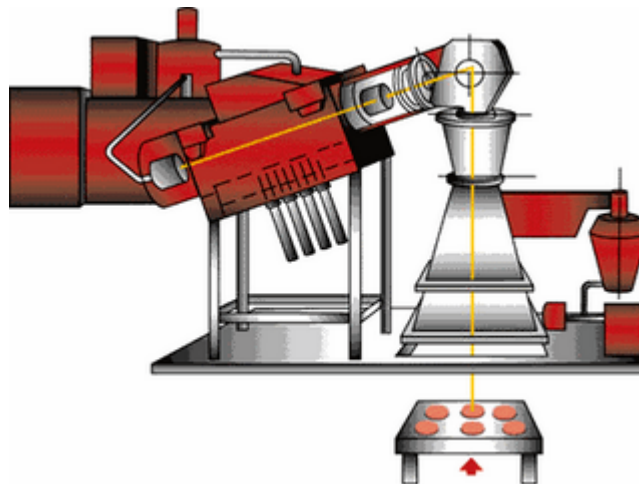


เทคโนโลยีการฉายรังสีอัญมณี

อดิศักดิ์ ปัญญาชน
ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี
สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

แหล่งกำเนิดรังสี ที่ใช้งานทางอุตสาหกรรมหรือเชิงพาณิชย์ที่สำคัญมี 3 ชนิดคือ

1. เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเชิงเส้น (เครื่องเร่งอิเล็กตรอนพลังงานสูง 10 และ 20 MeV, 20 kW) รังสีที่เอามาใช้งานคือ อิเล็กตรอน และเบรมส์ชตราลุง



รูปที่ 1. เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนแบบเชิงเส้น

2. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 2 MW) รังสีที่เอามาใช้งานคือ นิวตรอน และแกมมา

รูปที่ 2. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

3. แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาแบบไอโซโทป (Co-60 และ Cs-137) รังสีที่เอามาใช้งานคือ รังสีแกมมา



รูปที่ 3. แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาแบบไอโซโทป

เครื่องเร่งอิเล็กตรอนพลังงานสูง เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย และต้นกำเนิดรังสีแกมมา ถูกนำมาใช้เป็นผลสำเร็จในกิจกรรมด้านอัญมณี ต้นกำเนิดรังสีดังกล่าว มีความแตกต่างกันอย่างมากทั้งสมบัติและการติดตั้ง ดังนั้นงานทางด้านการฉายรังสี จะต้องมีความเหมาะสมกับต้นกำเนิดรังสีนั้น ๆ ผลของการฉาย จะขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัววัสดุเอง และเงื่อนไขต่าง ๆ ของต้นกำเนิดชนิดนั้น ๆ ด้วย

สมบัติของวัสดุ:

ของเหลว แก๊ส สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สารที่เป็นเนื้อเดียวกัน สารที่เป็นของผสม

การทำอันตรกิริยาของรังสีต่อวัสดุตัวกลาง

แสงที่ตามองเห็น (visible light): สามารถส่องผ่านตัวกลางที่โปร่งแสง ถูกดูดกลืนทั้งหมดหรือบางส่วน หรือสะท้อนกลับช่วงพลังงานของ visible light มีความสัมพันธ์กับอะตอมหรือโครงสร้างผลึกที่ขึ้นกับวงรอบอิเล็กตรอน โดยเห็นเป็นสี

less energetic light (LR): ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอะตอมและโมเลกุลคล้ายกับแสง

more energetic light (UV): ทำให้เกิดการแตกตัวและการทำลายในโมเลกุล

higher energetic light: เริ่มต้นจากรังสีเอกซ์ (X-rays) ถึงรังสีแกมมา (gamma-rays) ไอโซโทป Cs-137 (พลังงาน 660 keV) และ Co-60 (พลังงาน 1.3 MeV) สามารถเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของอัญมณีบางชนิด ที่ช่วงแสงที่ตามองเห็น มีผลให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ มีบางกรณีจะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือเหลือง มีหลายกรณีสีที่เปลี่ยนแล้วไม่เสถียรเมื่อถูกแสงแดด

รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation): เครื่องเร่งแวนเดอแกรฟฟ์ (Van De Graaff) ไมโครตรอน (microtrons) และเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเชิงเส้น ให้พลังงานมากและมีความเข้มสูง เครื่องเร่งแวนเดอแกรฟฟ์ (ระดับพลังงาน เป็น MeV และมีช่วงกระแสเป็น mA) ปัจจุบันเลิกใช้แล้ว เนื่องจากตัวเครื่องและการเดินเครื่องมีราคาแพงเมื่อเทียบกับเครื่องเร่งชนิดอื่น ๆ

ไมโครตรอน (microtrons): แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้ที่บีมเพาเวอร์ไม่สูงนัก (1 kW 25 MeV)

เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนแบบเชิงเส้น (electron linacs): เป็นเครื่องเร่งที่ประหยัดมากที่สุด โดยปกติออกแบบสร้างที่สามารถปรับเปลี่ยนพลังงาน 1 หรือ 2 ช่วงและมีบีมเพาเวอร์สูง (10 และ 20 MeV, 10-20 kW) เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor) เป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่ให้นิวตรอนพลังงานต่ำ (slow neutron) และนิวตรอนพลังงานสูง (fast neutron) อันตรกิริยาของนิวตรอนพลังงานต่ำกับสสารใด ๆ มีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น การจับยึดนิวตรอน (neutron capture) จะสลายกัมมันตรังสีให้รังสีบีตาและอะตอมนิวไคลด์จะถูกเปลี่ยนเป็นธาตุอื่นเช่นจาก Al เป็น Si จาก Si เป็น P



จากอันตรกิริยานี้มีความสำคัญต่อการผลิตโทแพซสีฟ้า (blue topaz)

การฉายรังสีอัญมณี

ไม่มีทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ แต่ความชำนาญในการฉายรังสีเป็นศิลปะซึ่งสามารถรวบรวมเป็นตำรับสำหรับอัญมณีชนิดต่าง ๆ อัญมณีบางชนิดสามารถเปลี่ยนสีได้ง่าย แต่บางชนิดก็ยุ่งยากซับซ้อน

ตัวอย่าง การใช้ประโยชน์

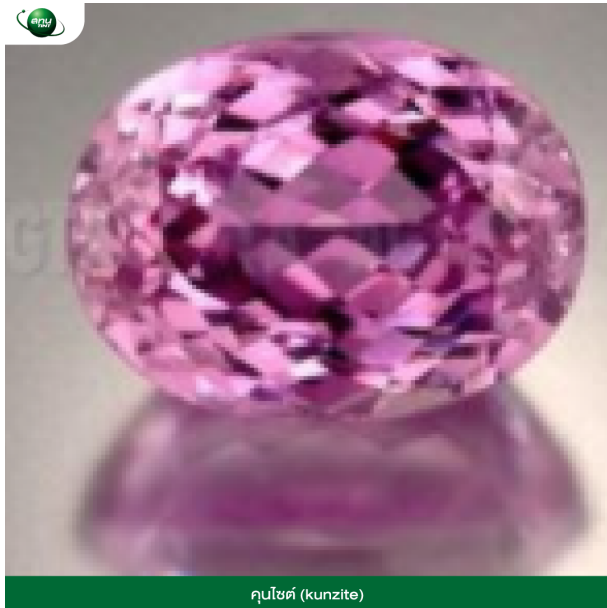
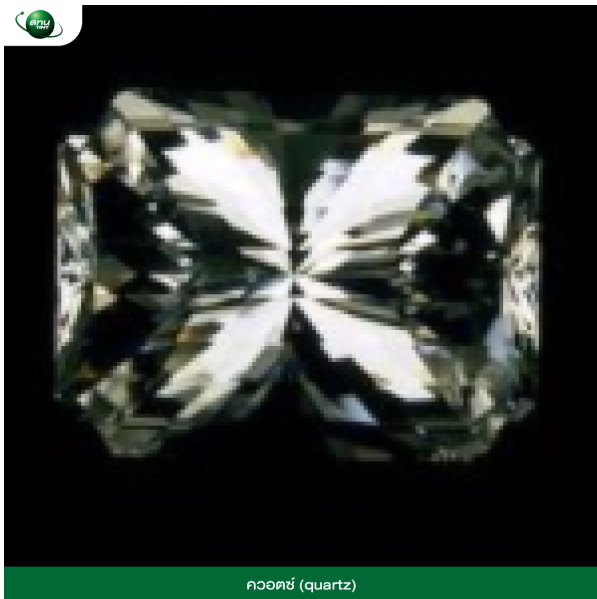
1. รังสีแกมมาจาก Co-60 ให้ผลดีกับ เบริล (beryl) ทัวร์มาลีน (tourmaline) ควอตซ์ (quartz) คอนไซต์ (kunzite)



เบริล (beryl)



ทัวร์มาลีน (tourmaline)



2. เครื่องเร่งอิเล็กตรอน 20 MeV, 10 MeV (สีฟ้าอ่อน) ให้ผลดีกับโทแพซ (topaz) อย่างเดียว



รูปที่ 5. sky blue topaz

3. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ฉายรังสีในแกนเครื่องปฏิกรณ์ (นิวตรอนพลังงานต่ำและแกมมา) ให้ผลดีกับโทแพซ (topaz) และ เพชร (diamond)



4. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัย ฉายรังสีนอกแกนเครื่อง (นิวตรอนพลังงานสูง) บวกด้วยการฉายด้วยเครื่องเร่งอิเล็กตรอน สำหรับโทแพซ (topaz) อย่างเดียว



การเพิ่มคุณค่าโดยวิธีดั้งเดิม

1. การเผา ทำให้สีของอัญมณีเปลี่ยนหรือมีความเข้มเพิ่มขึ้น
2. การเผาภายใต้ความดันสูง เหมาะสมกับทับทิม และแซปไฟร์

ตัวอย่าง เมื่อเพิ่มคุณค่าโดยใช้รังสีแกมมาจาก Co-60 หรือ Cs-137 ให้ผลดีสำหรับ เบริล (beryl) เปลี่ยนสีจากสีใสเป็น bright yellow ทัวรมาลีนเปลี่ยนเป็นสี deep red ควอตซ์เปลี่ยนเป็นสี brown ที่รู้จักในชื่อ smoked topaz สำหรับเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนแบบเชิงเส้นให้ผลที่คล้ายคลึงกัน ความแตกต่างของการฉายรังสีจากไอโซโทปรังสีและเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนแบบเชิงเส้น คือไอโซโทปรังสีให้แกมมาพลังงานเดียว ส่วนเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเชิงเส้นจะให้สเปกตรัมเบรมสตราลงแบบต่อเนื่อง

การเพิ่มคุณค่าของโทแพซ

ขั้นตอนการเตรียมการสำหรับทำ london blue

ในแกนเครื่องปฏิกรณ์ (incore):

london blue : ฉายรังสีในแกนเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 2-15 MW (แบบเปียกในบ่อเครื่องปฏิกรณ์ใช้เวลา 8-30 ชม) นิวตรอนพลังงานต่ำหรือเทอร์มัลนิวตรอน หลังการฉายรังสีต้องทิ้งอัญมณีไว้ในกัมมันตภาพรังสีสลาย อย่างน้อย 3 ปี



รูปที่ 8. london blue topaz

นอกแกนเครื่องปฏิกรณ์ (offcore):

swiss blue และ sky blue: ภาชนะ (ใช้โบรอนคัดกรองนิวตรอนพลังงานต่ำ) บรรจุโทแพซในภาชนะภายใต้ความกดอากาศที่ความดัน 2 บาร์ ใช้เวลาในการฉาย 11 วัน สีเปลี่ยนจาก faint yellow เป็น light green หลังการฉายรังสี มีกัมมันตภาพรังสีต่ำและพบไอโซโทปที่มีครึ่งชีวิตยาวนานน้อยมาก สีจะเสถียรที่อุณหภูมิสูงไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส ระหว่างการฉายรังสีจะเกิดความร้อนจำเป็นต้องหล่อเย็นตลอดเวลาในการฉาย ใช้เวลาในการสลายของรังสีประมาณ 2-3 เดือน

หลังจากการฉายรังสีแล้ว หลังจากนั้นฉายด้วยเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเชิงเส้น ที่พลังงาน 20 MeV ปริมาณรังสี (doses) ประมาณ 30 kGy (3 gigarad)

swiss blue: ใช้สองวิธีร่วมกัน ฉายรังสีด้วยเครื่องปฏิกรณ์นอกแกน บวกด้วยการฉายรังสีด้วยเครื่องเร่งลำอิเล็กตรอน ขนาด 20 MeV ยิ่งเข้าที่อัญมณีที่ถูกห่อหุ้มด้วยกล่องอะลูมิเนียม ความหนา 0.5-1 มิลลิเมตร ปริมาณรังสีที่ใช้ในการฉาย อยู่ในช่วง 10 gigarad รูปทรงของภาชนะบรรจุใช้กล่องแบนความหนา 30 มิลลิเมตร ฉายแบบกวาดที่ 1Gy เป็นเวลา 1 ชั่วโมง น้ำหนักโทแพซ 1 กิโลกรัม ใช้กำลัง 28 kW

สำหรับเครื่องเร่งลำอิเล็กตรอน 20 MeV ใช้กระแสไฟฟ้า 1.5 mA หลังการฉายรังสีจะมีกัมมันตภาพรังสีต่ำประเภทค่าครึ่งชีวิตสั้น



sky blue : ใช้เครื่องเร่งขนาด 10-20 MeV อย่างเดียว



ky blue topazv

ก่อนการเพิ่มคุณค่าด้วยการฉายรังสี

อัญมณีที่จะนำมาฉายรังสีจะต้องล้างทำความสะอาดสิ่งเจือปนออกให้หมด ด้วยการต้มในกรดเกลือ ตัวอย่างของไอโซโทป Co-60 ที่พบหลังการฉายรังสีแล้ว เกิดจากอันตรกิริยาการจับยึดนิวตรอน (neutron capture) ของธาตุนิเกิล (nickel) พบว่าเกิดจากการเปราะเฝื่อนของอัญมณีกับภาชนะที่ใส่