

บทที่ 3

ทฤษฎีแทรค-เอทซ์

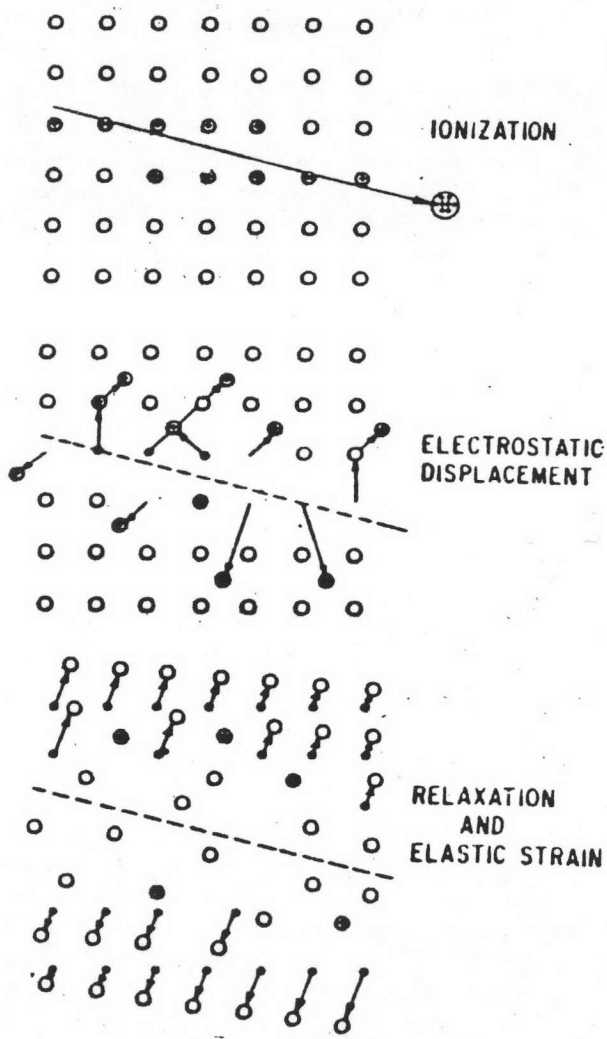


3.1 ประวัติการศึกษาเรื่องแทรค-เอทซ์

ในปี ค.ศ. 1959 ซิลค์ และ บารนส์ ได้ค้นพบรอยของอนุภาคมีประจุในไมก้า รอยนี้มีขนาดเล็กมากจะต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบบอิเล็กตรอนจึงจะเห็น ต่อมาฟิสเชอร์ (R.L. Fleischer) ไพรส์และวอกเกอร์ (P.D. Price and R.M. Walker) ได้อธิบายวิธีการที่จะขยายรอยเหล่านี้ให้ใหญ่และสามารถเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา โดยการนำวัตถุนั้นไปแช่ในสารละลายเคมีที่เหมาะสม เพื่อกัดรอย(etch) และยังพบว่าวัตถุของแข็งทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นฉนวน สามารถใช้ในการบันทึกรอยอนุภาคมีประจุได้ วัตถุเหล่านี้มีชื่อเรียกต่าง ๆ กันไป เช่น แทรค-เอทซ์คือแทคเตอร์ จากการค้นพบนี้สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยด้านต่าง ๆ จึงได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง

3.2 กลไกในการเกิดรอย (Mechanism of Track Formation)

ได้นักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้คำอธิบายกลไกในกรณีการเกิดรอยในวัตถุตัวกลางไว้ แต่คำอธิบายที่สอดคล้องกับการทดลอง และเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปคือทฤษฎี "ion explosion spike" ซึ่งกล่าวว่าเมื่ออนุภาคมีประจุ วิ่งผ่านเข้าไปในวัตถุตัวกลางที่เป็นฉนวน เช่น แก้ว ไมก้า และพลาสติก ประจุไฟฟ้าในอนุภาคนั้นจะเกิดปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนและถ่ายเทพลังงานให้ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร(ionization) เกิดประจุบวกขึ้นรอบ ๆ แนวทางที่อนุภาคนั้นวิ่งผ่าน และอนุภาคประจุบวกเหล่านี้อยู่ใกล้กันเกิดแรงผลักกันขึ้น ทำให้เคลื่อนที่ไปเบียดอะตอมถัดไป เกิดความเครียดขึ้น ความเครียดนี้จะแผ่กระจายไปยังอะตอมถัดไปทุกทิศทุกทาง ทำให้โมเลกุลเรียงตัวกันใหม่ เกิดความสับสน และกลายเป็นช่องว่างขึ้นในบริเวณทางที่อนุภาคมีประจุผ่านไปในตัวกลางที่เป็นฉนวนรอยเหล่านี้จะอยู่อย่างถาวร ในตัวกลางกึ่งตัวนำ (semiconductor) และตัวกลาง

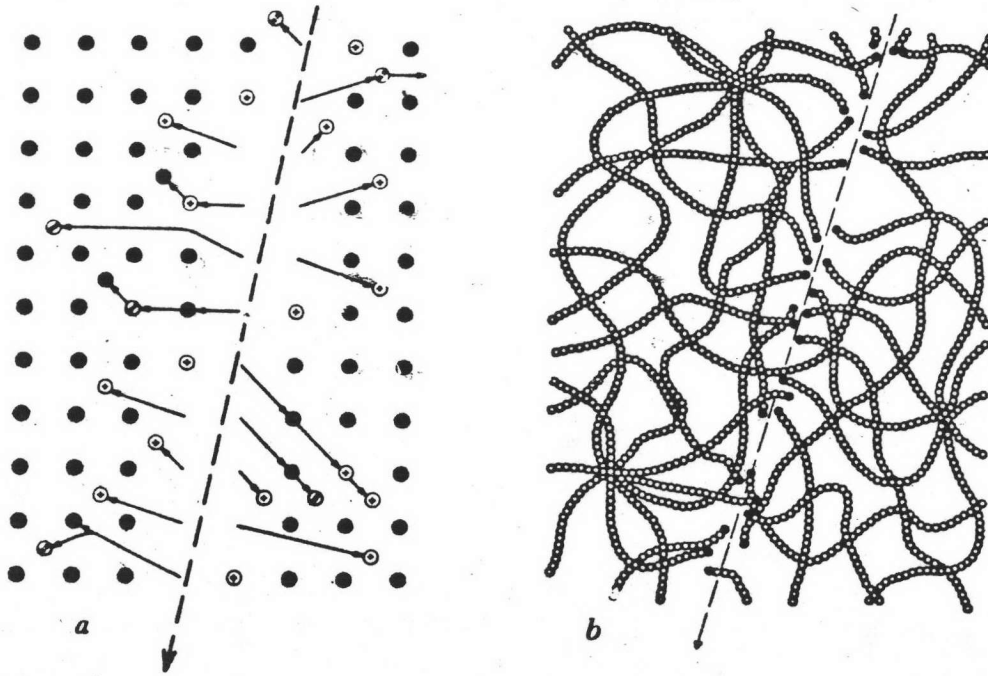


รูปที่ 3.1 แสดงกลไกในการเกิดรอย

กันว่า อีออนบวกสามารถจับอิเล็กตรอนอิสระเข้าวงกลายเป็นกลางใหม่ จึงไม่เกิดช่องว่างขึ้น

รอยในสารพวกโพลีเมอร์เกิดขึ้นได้ง่ายกว่าโดยเพียงแต่อุณหภูมิประจุวิ่งผ่านเข้าไปแล้วกระตุ้นอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงขึ้น ก็จะเป็นการทำลายแขน (bond) ระหว่างโครงสร้างของโพลีเมอร์นั้น ปรากฏรอยขึ้น เช่น สารเซลลูโลสในเครท

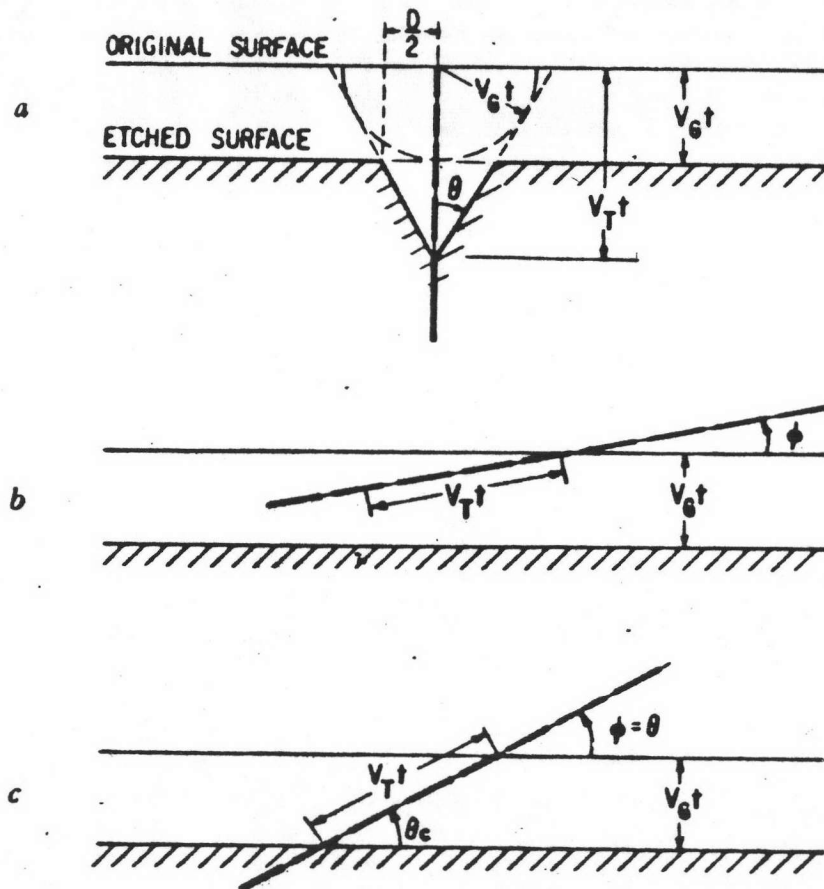
เซลลูโลสในเครทสามารถเกิดรอยได้ เนื่องจากอนุภาคที่ไม่มีประจุ เช่น นิวตรอนเร็ว โดยธาตุประกอบในเซลลูโลสในเครท คือ คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน และไฮโดรเจน เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์กับนิวตรอนเร็ว ปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ การกระเจิงแบบอิลาสติก และการถูกกลืน แล้วให้อนุภาคมีประจุออกมา เช่น โปรตอน อัลฟา ทำให้เกิดรอยขึ้น



รูปที่ 3.2 แสดงภาพการเกิดรอยในตัวกลางที่เป็นผลึก (a) และตัวกลางที่เป็นโพลีเมอร์ (b)

3.3 การกัดกรอย (etching)

รอยที่เกิดจากอนุภาคมีประจุวิ่งผ่านวัตถุตัวกลางมีขนาดเล็กมาก จำเป็นต้องขยายให้ใหญ่ขึ้นโดยการกัดกรอย (etching) ด้วยสารละลายเคมีที่เหมาะสม รอยจะปรากฏหรือไม่หลังการกัด ขึ้นอยู่กับมุมที่อนุภาคมีประจุทำกับวัตถุตัวกลางนั้น ๆ



รูปที่ 3.3⁶

3.3.a รูปของรอยจะปรากฏ เมื่อ $V_T > V_G$ และ $\phi = 90$

3.3.b รูปของรอยจะหายไปเมื่อ $V_T \sin \phi < V_G$

3.3.c รูปของรอยเริ่มหายไปเมื่อ $V_T \sin \phi = V_G$

ในรูปที่ 3.3.a แสดงถึงรอยที่เกิดจากอนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ค้ำฉากกับ
 วัตถุตัวกลาง เมื่อผ่านการกักรอยเป็นเวลา t จะเกิดรอยเส้นผ่าศูนย์กลาง D และ
 ความยาวมองเห็นได้ l โดยที่มีความเร็วของการกักรอยตามแนวอนุภาคมีประจุ V_T
 และความเร็วของการกักรอยตามบริเวณทั่วไป V_G มีค่าคงที่, ค่า $V_G < V_T$ และ V_T/V_G
 มีค่าคงที่ตลอดเวลาในการกัก เมื่อใช้เวลากักรอยไม่นานนัก และได้ความสัมพันธ์คือ

$$l = (V_T - V_G) t \quad \dots\dots\dots 3.1$$

$$D = 2V_G t \sqrt{(V_T - V_G)(V_T + V_G)} \quad \dots\dots\dots 3.2$$

ทั้ง l และ D หายไปเมื่อ $V_T = V_G$

รูปที่ 3.3 b แสดงรอยที่เกิดจากอนุภาคมีประจุวิ่งทำมุม ϕ กับวัตถุตัวกลาง
 และมีค่าของ $V_T t \sin \phi$ น้อยกว่า $V_G t$ รอยของอนุภาคมีประจุในกรณีนี้จะหายไป
 เมื่อผ่านการกักรอยเวลา t

รูปที่ 3.3 c แสดงถึงค่า $V_T t \sin \phi = V_G t$ ซึ่งเป็นจุดที่รอยเริ่มหายไป

ตารางที่ 3.1 แสดงถึงชนิดและเงื่อนไขของสารละลายที่ใช้ในการกักรอยใน
 พลาสมาติกแต่ละชนิด

3.3.4 การนับรอย

การนับรอยเป็นการประเมินผลเพื่อดูความหนาแน่นของรอยอนุภาคบนแผ่น
 บันทึกรอย วิธีที่ใช้ทั่วไปคือนับจำนวนรอยอนุภาคมีประจุบนแผ่นบันทึกรอย โดยใช้กล้อง
 จุลทรรศน์ ซึ่งมักจะนับในพื้นที่คงที่หนึ่ง ๆ และยังมีการพัฒนาวิธีการให้รวดเร็วขึ้นโดยใช้
 สปาร์กเคาน์เตอร์ (spark counter)

ETCHANTS FOR PLASTICS

Plastic (Trade Names)	Etching Conditions	Reference
amber	30 g $K_2Cr_2O_7$: 50 ml conc. H_2SO_4 , 40 h, 28°C	Orgiris and Fleischer (1971)
cellulose acetate (Kodacel; Triafol T; Cellit)†	1 ml 15% $NaClO$: 2 ml 6.25N $NaOH$, 1 h, 40°C 25 g $NaOH$: 20 g KOH : 4.5 g $KMnO_4$: 90 g H_2O , 2-30 min, 50°C	Price et al. (1971) Somogyi et al. (1968)
cellulose acetate butyrate†	6.25N $NaOH$, 12 min, 70°C	Fleischer et al. (1965d)
cellulose nitrate (Diacell; Nixon-Baldwin)†	6.25N $NaOH$, 2-4 h, 23°C	Fleischer et al. (1965b)
cellulose propionate (Cellidor)	28% KOH , 100 min, 60°C	Becker (1969)
cellulose triacetate (Kodacel TA401, unplasticized; Bayer TN)†	1 ml 15% $NaClO$: 2 ml 6.25N $NaOH$, 1 h, 40°C	Price et al. (1970a)
dimethyl siloxane (crosslinked)	25N $NaOH$, 3 min, 115°C	Fleischer and Bergeron (unpub.)
formophenol (ambrolithe, phenoplaste)	6N $NaOH$, 1 h, 40°C; 48% HF , 30 sec, 40°C, in sequence	Monnin et al. (1966)
HBpaIT (polyester, $C_{17}H_{19}O_2$)	6.25N $NaOH$, 8 min, 70°C	Fleischer et al. (1965a)
ionomeric polyethylene (Surlyn)†	10 g $K_2Cr_2O_7$: 35 ml 30% H_2SO_4 , 1 h 50°C	Besson et al. (1967)
polyamide (H-Film)	$KMnO_4$ (25% aq.), 1.5 h, 100°C 6N $NaOH$ solution	Besson et al. (1967) Fleischer (unpub.)
polyimide	$KMnO_4$ in H_2O	Monnin and Isabelle (1970)
poly 1-4 butylene terephthalate	1 ml 6.25N $NaOH$: 1 ml ethanol, 24 h, 23°C	Fleischer (unpub.)
polycarbonate (Lexan; Makrofol; Merlon; Kinfol)†	6.25N $NaOH$, 20 min, 50°C 6.25N $NaOH$ + 0.4% Benax*, 20 min, 70°C	Fleischer and Price (1963a) Price et al. (1968a)
polyethylene	10 g $K_2Cr_2O_7$: 35 ml 30% H_2SO_4 , 30 min, 85°C	Monnin et al. (1967)
polyethylene terephthalate (Mylar; Chronar; Melinex; Terphane)	6.25N $NaOH$, 10 min, 70°C $KMnO_4$ (25% aq.), 1 h, 55°C	Fleischer and Price (1963a) Monnin et al. (1967)
polymethyl methacrylate (Plexiglas; Lucite)†	sat. $KMnO_4$, 8 min, 85°C	Monnin et al. (1966)
polyoxymethylene (Delrin)	5% $KMnO_4$, 10 h, 60°C	Monnin et al. (1966)
polyphenoxide	$KMnO_4$, (25% aq.), 4 min, 100°C	Besson et al. (1967)
polyphenylene oxide (PPO)	$KMnO_4$ aq., sat., 24 h, 95°C	Fleischer (unpub.)
polypropylene (Cryovac-Y)†	35 ml 30% H_2SO_4 : 10 g $Cr_2K_2O_7$, 5 min, 94°C	Besson et al. (1967)
polystyrene	sat. $KMnO_4$, 2.5 h, 85°C 10 g $K_2Cr_2O_7$: 35 ml, 30% H_2SO_4 , 3 h, 85°C	Monnin et al. (1966) Monnin et al. (1967)
polyvinyl acetate (Formvar)	6.25N $NaOH$, 200 h, 23°C	Fleischer (unpub.)
polyvinylaceto-chloride	$KMnO_4$ (25% aq.) 30 min, 100°C	Besson et al. (1967)
polyvinylchloride	sat. $KMnO_4$, 2.5 h, 85°C	Monnin et al. (1966)
polyvinylidene chloride (Saran)	$KMnO_4$ (25% aq.), 2 h, 55°C	Besson et al. (1967)
polyvinyl toluene	$KMnO_4$, sat., aq., 30 min, 100°C	Fleischer and Price (unpub.)
silicone-polycarbonate copolymer	6.25N $NaOH$ 20 min, 50°C	Fleischer et al. (1972b)
siloxane-cellulose copolymer	8N $NaOH$ + -0.1% Dowfax, 3 h, 85°C	Fleischer, Viertel and Holub (unpub.)

*Dow surfactant 2A1, Dowfax, Dow Corning; presaturated with etch products (Peterson, 1970).

†Tracks of low-energy alpha particles can be revealed by etching this plastic.