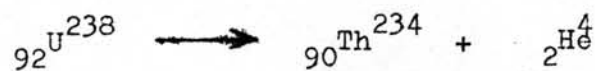
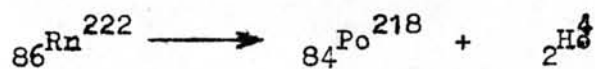
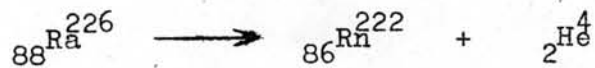




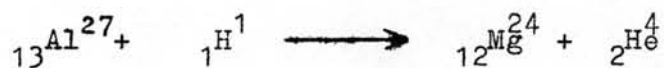
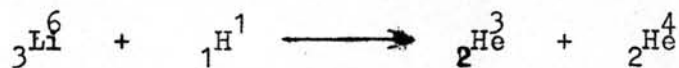
อนุภาคอัลฟาและการเกิดรอยบนแผ่นฟิล์ม

2.1 อนุภาคอัลฟา (Alpha particle, ${}^4_2\text{He}$)

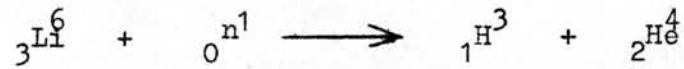
อนุภาคอัลฟา คือ นิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม ซึ่งประกอบด้วยนิวตรอนและโปรตอนอย่างละ 2 อนุภาค มีขนาดประจุเท่ากับบวกสอง ในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป อนุภาคอัลฟาส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของธาตุที่มี เลขอะตอม (atomic number) สูงกว่า 81 คือตั้งแต่บิสมัทขึ้นไป เช่น เรดอน-222 เรเดียม-226 เป็นต้น การสลายตัวให้อนุภาคอัลฟาได้ธาตุใหม่ที่มีเลขอะตอมลดลงไป 2 และมีเลขมวล (mass number) ลดลงไป 4 ดังตัวอย่างต่อไปนี้



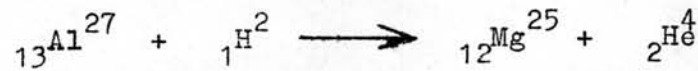
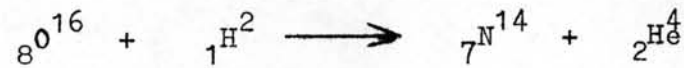
พลังงานของอนุภาคที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 4-9 Mev. นอกจากนี้อนุภาคอัลฟายังเกิดขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์อื่น ๆ อีกเช่นเกิดจากปฏิกิริยา (P, α) ดังตัวอย่างข้างล่าง



เกิดจากปฏิกิริยา (n,α) ดังตัวอย่างข้างล่าง



เกิดจากปฏิกิริยา (d,α) ดังตัวอย่างข้างล่าง



2.1.1 อันตรกิริยา(interaction) ของอนุภาคอัลฟากับสสาร

เมื่ออนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใด ๆ จะสูญเสียพลังงานเกือบทั้งหมดในการชนกับอิเล็กตรอนของตัวกลาง เป็นผลทำให้มีการเกิดไอออน และความโลด (ionization and excitation) การสูญเสียพลังงานดังกล่าวเป็นไปอย่างรวดเร็ว อนุภาคอัลฟาจึงมีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ อนุภาคอัลฟาจะรวมกับอิเล็กตรอนกลายเป็นอะตอมที่เป็นกลางของฮีเลียม

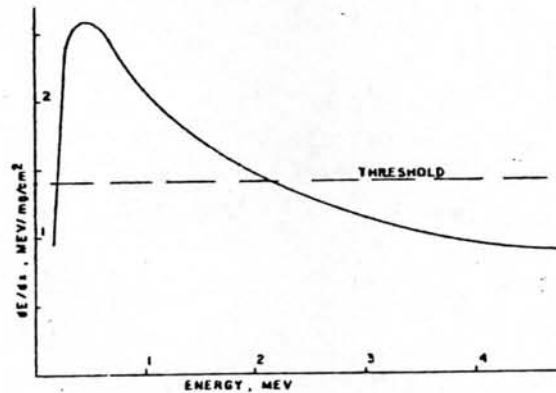
เนื่องจากอนุภาคอัลฟามีมวลมากเมื่อเทียบกับอิเล็กตรอน ดังนั้นในการชนกับอิเล็กตรอนของตัวกลาง แทบจะไม่ทำให้อนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่หักเหออกจากทิศทางเดิม จึงถือว่าอนุภาคอัลฟามีทางเดินเป็นเส้นตรง

อัตราการสูญเสียพลังงานของอนุภาค ที่มีประจุชนิดหนัก (heavy charged particle) จะเป็นไปตามสมการที่เบธ (Bethe) และบล็อก (Block) ให้ไว้ดังนี้คือ

$$\frac{dE}{dX} = \frac{4\pi e^4 z^2 NZ}{m_e V^2} \left[\ln \frac{2 m_e V^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \dots \dots (2.1) \quad (4)$$

เมื่อ $\frac{dE}{dX}$ = อัตราการสูญเสียพลังงาน

- e = ประจุของอิเล็กตรอน
 z = เลขอะตอมของอนุภาค
 m_0 = มวลพัก (rest mass) ของอิเล็กตรอน
 N = ความหนาแน่นอะตอมของตัวกลาง
 Z = เลขอะตอมของตัวกลาง
 v = ความเร็วของอนุภาค
 I = ค่าศักย์ของความโลดเจี้ยน (mean excitation potential)
 β = $\frac{v}{c}$
 c = ความเร็วแสงในสุญญากาศ



รูปที่ 2.1 (12) อัตราการสูญเสียพลังงาน ของอนุภาคอัลฟา
ในซิลิโคนในเทรท

สำหรับอนุภาคอัลฟา ที่มีพลังงานจลน์ E MeV. จะหาอัตราการสูญเสียพลังงานในหน่วย MeV/cm ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{dE}{dx} = 3.79 \times 10^{-21} \frac{NZ}{E} \left[\ln \frac{2 m_e v^2}{I} - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right] \dots \dots (2.2) \quad (17)$$

2.1.2 พิสัย (range) ของอนุภาคอัลฟา

พิสัยของอนุภาคอัลฟา หมายถึงระยะทางที่อนุภาคอัลฟาสามารถเคลื่อนที่ได้ไกลที่สุดในตัวกลาง พิสัยจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจลน์ ความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยของอนุภาคอัลฟาในตัวกลางใด ๆ กับในตัวกลางที่เป็นอากาศแห้งที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นไปตามกฎของแบรกก์-คลีแมน (Bragg-Kleeman rule) ดังต่อไปนี้

$$R = 3.20 \times 10^{-4} \frac{\sqrt{A}}{\rho} R_a \quad \dots \dots (2.3) \quad (17)$$

เมื่อ R = พิสัยของอนุภาคอัลฟาในตัวกลางใด ๆ ที่มีความหนาแน่น ρ และเลขมวล A

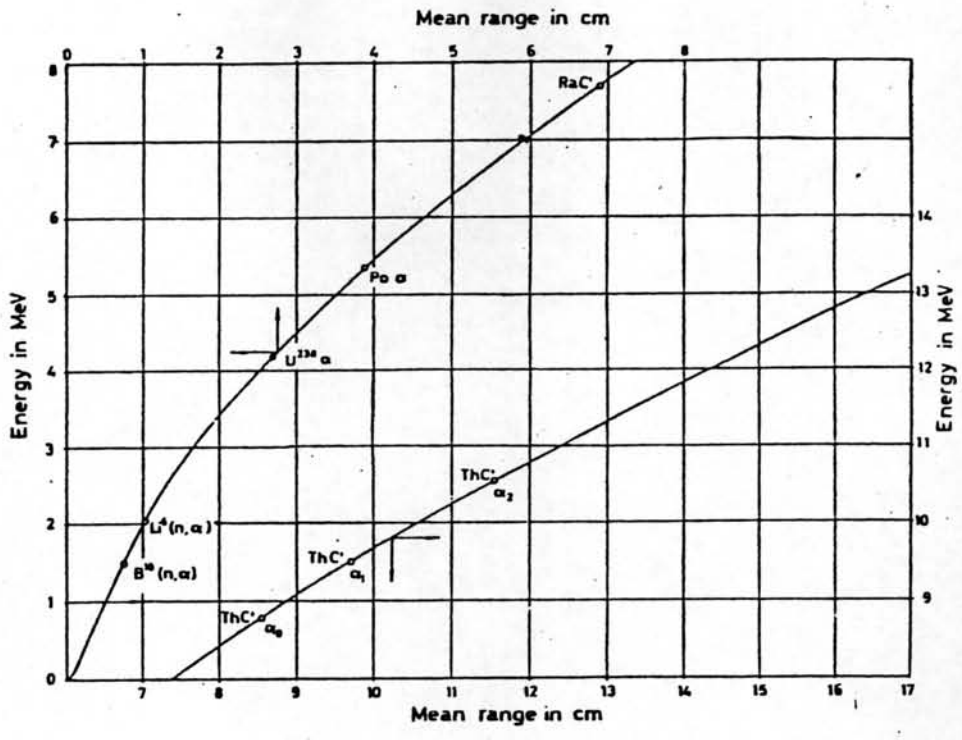
R_a = พิสัยของอนุภาคอัลฟาในอากาศแห้งที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งอ่านค่าได้จาก รูปที่ 2.2

ถ้าตัวกลางเป็นของผสม ต้องใช้ค่า $\sqrt{A_{eff}}$ แทนค่า \sqrt{A}

$$\text{เมื่อ } \sqrt{A_{eff}} = \frac{n_1 A_1 + n_2 A_2 + \dots}{n_1 \sqrt{A_1} + n_2 \sqrt{A_2} + \dots} \quad \dots \dots (2.4) \quad (17)$$

= ค่ายังผลของเลขมวล (effective mass number)

n_1, n_2, \dots = ค่า atomic fraction ของธาตุที่มีเลขมวล A_1, A_2, \dots ในของผสม



(18)
 รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของอนุภาคอัลฟา กับ
 พิสัยในอากาศแห้งที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส
 ความดัน 1 บรรยากาศ

2.2 กลไกในการเกิดรอย (Track Formation Mechanism)

เมื่ออนุภาคมีประจุวิ่งผ่านวัสดุที่เป็นฉนวนบางชนิด เช่น แก้ว มายลาร์ ไมกา และพลาสติกจะเกิดรอยเล็ก ๆ ขึ้นตามทางที่อนุภาควิ่งผ่าน รอยเล็ก ๆ เหล่านี้สามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ถ้านำเอาวัสดุดังกล่าวไปแช่ในสารละลายเคมีที่เหมาะสม เพื่อกัดรอย (etch) ให้โตขึ้นจะสามารถมองเห็นรอยได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดาจำนวนรอยที่ปรากฏบนวัสดุ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคมีประจุที่วิ่งผ่าน ดังนั้นวิธีการนี้จึงนำไปประยุกต์ในด้านการวัดรังสีได้ แผ่นวัสดุที่ใช้บันทึกรอยดังกล่าวมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น แทรค-เอทซ์ ดีเทกเตอร์ (track-etch detector)

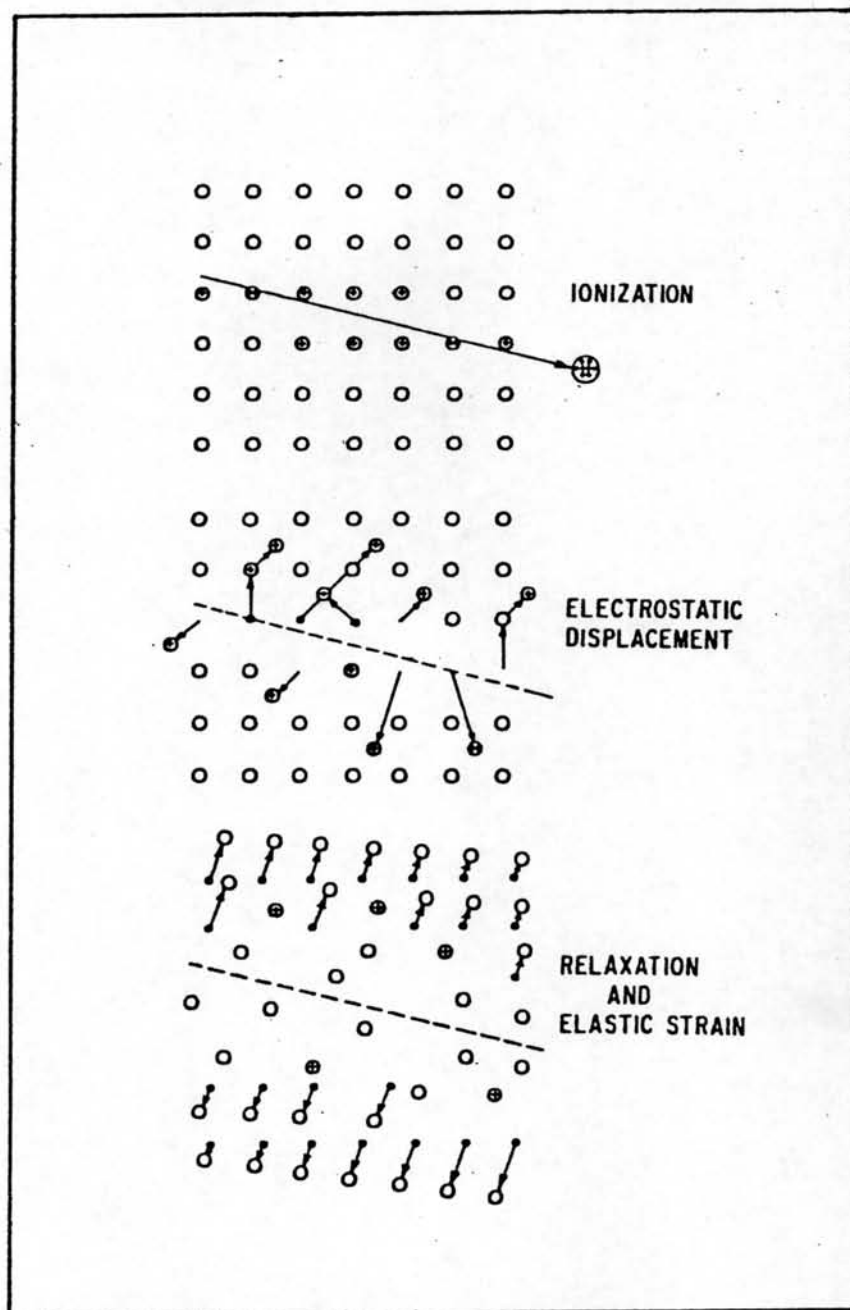
ไดอิเล็กทริก-ดีเทคเตอร์ (dielectric detector) โซลิดสเตท-แทรคดีเทคเตอร์ (solid state track detector) และโซลิดสเตทนิวเคลียร์แทรคดีเทคเตอร์ (Solid state nuclear track detector) เป็นต้น

สำหรับรอยที่เกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์มดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ได้มีนักฟิสิกส์หลายท่านได้ให้คำอธิบายว่า Fleischer และคณะเป็นนักฟิสิกส์ที่ให้คำอธิบายที่มีเหตุผล และเป็นที่ยอมรับกัน ซึ่งอธิบายไว้ในปี ค.ศ. 1965 เรียกว่า "ไอออน เอกซ์พลอสชัน" (ion explosion spike) ว่า เมื่ออนุภาคมีประจุวิ่งผ่าน ตัวกลางจะมีการสูญเสียพลังงานให้แก่อะตอมของตัวกลาง ทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรหลุดออกไป เป็นผลทำให้เกิดเป็นอะตอมที่มีประจุบวกขึ้นรอบ ๆ แนวทางที่อนุภาควิ่งผ่าน อะตอมที่มีประจุบวกเหล่านี้จะผลักกันซึ่งกันและกัน ต้องมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เพื่อความสมดุลย์ จึงเกิดช่องว่างขึ้นที่บริเวณนั้น ซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ในกรณีที่ตัวกลางเป็นตัวนำ (conductor) หรือกึ่งตัวนำ (semi-conductor) บางชนิด อะตอมที่ขาดอิเล็กตรอนสามารถจับอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้ ๆ เข้าไปรวมได้อย่างรวดเร็ว ก่อนที่จะมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ จึงไม่สามารถเกิดเป็นช่องว่างให้เห็นเป็นรอยอย่างเช่นวัสดุที่เป็นฉนวน

อนุภาคมีประจุจะต้องถ่ายเทพลังงานให้แก่วัสดุตัวกลางนั้น มากกว่าค่าพลังงานวิกฤต (critical energy) ของวัสดุนั้นคือกัน ๆ จึงจะปรากฏรอยขึ้น หมายความว่า การจะเกิดรอยได้หรือไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและพลังงานของอนุภาคมีประจุ และชนิดของวัสดุ ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม

2.2.1 การกัดรอยที่เกิดจากอนุภาคอัลฟา (Etching)

เนื่องจากรอยของอนุภาคอัลฟา ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กมาก ต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีราคาสูงมาก จึงจำเป็นต้องทำการกัดรอยด้วยสารเคมีที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา บริเวณช่องว่างที่เกิดขึ้นตามทางที่อนุภาคอัลฟาวิ่งผ่าน จะถูกสารเคมีกัดละลายออกมาได้เร็วกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้รอยที่ปรากฏอยู่โตขึ้น จนมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา การที่จะให้ได้รอยที่กัดแล้วชัดเจน



รูปที่ 2.3 (4) แผนภาพอธิบายกลไกการเกิดรอยจากอนุภาคอัลฟา

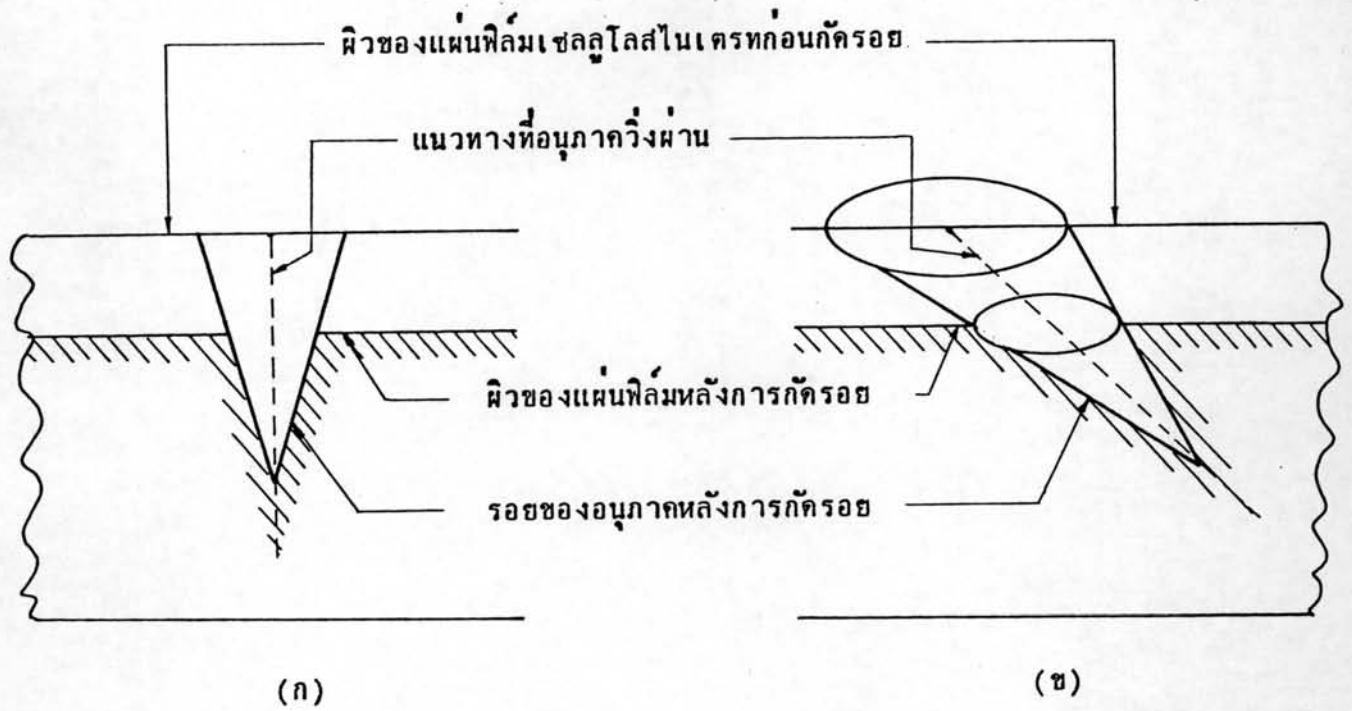
เงื่อนไขที่ใช้เป็นแนวทางสำหรับกิจกรรมวัสดุบันทึกรอยรังสีที่เป็นพลาสติก

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	Uzgiris and Fleischer (1971)
cellulose acetate (Kodacel; Triafol T; Cellit)†	1 ml 15% $NaClO$: 2 ml 6.25N $NaOH$, 1 h, 40°C	Price et al. (1971)
	25 g $NaOH$: 20 g KOH : 4.5 g $KMnO_4$: 90 g H_2O , 2-30 min, 50°C	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 (Surllyn)†	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; Kimfol)†	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, 93°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, Viertl 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.



(4)
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการกัดกร่อนของอนุภาคอัลฟาบนฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตท

(ก) เมื่ออนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่ตั้งฉากกับแผ่นฟิล์ม

(ข) เมื่ออนุภาคอัลฟาเคลื่อนที่ไม่ตั้งฉากกับแผ่นฟิล์ม

มากนักยิ่งใดนั้นขึ้นอยู่กับ ชนิดของสารเคมี อุณหภูมิ ความเข้มข้น และเวลาในการกัด รอยเป็นสำคัญ ซึ่งต้องได้มาจากการทดลองทั้งนั้น เงื่อนไขในการกัดรอย (etching condition) สำหรับวัสดุบันทึกรอยที่เป็นพลาสติก ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 2.1

2.2.2 การนักรอยรังสีอัลฟาที่เกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท

การนักรอยเป็นการประเมินผลเพื่อดูความหนาแน่นของรอยจากอนุภาค อัลฟายบนแผ่นฟิล์ม วิธีที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปก็คือการนับจำนวนรอยด้วยกล้องจุลทรรศน์