เอกสารอ้างอิง

1. Fleischer, R.L.; Price, P.B. and Walker, R.M. Nuclear Tracks in Solids: Principle and Applications. University of California Press, California, 1975.

2. Ranzer, F.G.; Paretzke, H. and Schopper, E. Solid State Nuclear Track Detectors. Proceedings of the 9th International Conference Neuherburg/Munchen. Vol. 182, Willam Clowes and Sons Ltd., London, 1976.

3. นเรศร์ จันทร์ขาว "ศึกษาการสำรวจยูเรเนี่ยมโดยวิธีการแทรค-เอทช์" วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2522.

4. สมคิด เมตไตรพันธ์ "เครื่องวัดปริมาณนิวตรอนประจำตัวบุคคลด้วยไซลิคสเตทแทรคดีเทคเตอร์" วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.

5. วิภา รุ่งดิลกโรจน์ "ศึกษาการนับรอยของนิวตรอนเร็วบนแผ่นฟิล์ม" วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.

6. ลม เกียรติ กรีทอง เคมีนิวเคลียร์และเคมีนิวเคลียร์ประยุกต์. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2524.

7. Kaplan, I. Nuclear physics. 2nd ed., Wing Tai Cheung Co., Ltd., Hong Kong, 1979.

8. Choppin, G.R. and Rydberg, J. Nuclear chemistry Theory and Application. Pergamon Press, New York, 1980.

9. นิพนธ์ ตั้งประเสริฐ ฟิสิกส์รังสี. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ ดีแอนด์ เอส, 2524.

10. Lederer, C.M.; Hollander, J.M. and Perlman, I. Table of Isotopes 6th ed. John Wiley and Sons, New York, 1967.

11. Friedlander, G.; Kenedy, J.W.; Macias, E.S. and Miller, J.M. Nuclear and radiochemistry. 3rd ed. John Wiley and Sons, New York, 1981.

12. Cember, H. Introduction to Health Physics. Pergamon Press, New York, 1969.

13. Arnikar, H.J. Essentials of Nuclear Chemistry. Wiely Easthern Limited, New Delhi, 1982.

14. Lamarsh, J.R. Introduction to nuclear Engineering. Addison-Wesley Publishing Co. Ltd., New York, 1975.

15. ศลักษณ์ ทรรพนันทน์ เคมีนิวเคลียร์ กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

16. อุไรวรรณ จุณภาต นิวเคลียร์ฟิสิกส์ กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2521.

17. Knoll, G.F. Radiation Detection and Measurement. John Wiley and Sons, New York, 1977.

18. Price, W.J. Nuclear Radiation Detection. McGraw-Hill, New York, 1964.

19. Pilcher, V.E.; Jones, C.C. and Ellmers, G.R. "Particle Tracks in Cellulose Nitrate". American Journal of Physics. 40 (1972): 679-683.

20. Balcazar-Garcia, M. and Durrani, S.A. "H_e^3 and H_e^4 Spectroscopy Using Plastic Solid-State Nuclear Track Detectors". Nuclear Intruments and Methods, 147 (1977): 31-34.

21. Knop, G. and Paul, W. Alpha-, Beta-, and Bamma-rays Spectroscopy Vol. 1 Edited by Kai Siegbhan. North-Holland Publishing Co.Ltd., Amsterdam, 1975.

22. Chase, G.D. and Rabinowitz, J.L. Principle of Radioisotope Methodology. Purgess Publishing Co.Ltd., New York, 1968.

23. Kristainsson, K. and Malmqvist, L. "Evidence for Nondiffusive Transport of $^{222}_{86}Rn$ in the ground and a new physical model for the transport". Geophysics. 47 (1982):1444-1452.

24. Fleischer, R.L.; Price, P.B. and Walker, R.M. "Ion Explosion Spike Mechanicsm for Formation of Charged-Particle Tracks in Solids" Journal of Applied Physics. 36 (1965): 3645-3652.

25. Eichholz, G.G. and Poston, J.W. Principles of Nuclear Radiations Detection. Ann Arbar Science Publishers, Inc., Michigan, 1979.

26. Kahe, J.B., Arnett, E.N. and Meyer, C.T. "Latent Image Fading in Personal Monitering Neutron Film". Health Physics. 17(1969):735-736.

27. Piesh, E. and Sayed, A.M. "Latent Fading in Solid-State Trade Etching Detectors". Nuclear Instruments and Methods. 119 (March 1974):367-371.

28. Beiser, A. "A Thermal Mechanism for Residual Latent Image Fading in Nuclear Emulsion". Physical Review. 80 (1950):112.

29. Bartlett, D.T. and Creasey, F.L. "Latent Fading of Monitoring Films". Nuclear Instrument and Methods. 127(1975):149.

30. Piesch, E. and Sayed, A.M. "Latent Fading of Gamma and Neutron Monitoring Films" Nuclear Instruments and Methods. 123 (1975):397-402.

31. IAEA. Personnel Dosimetry Systems for External Radiation Exposures. Technical Reports Series No. 109, IAEA, Vienna, 1970.

32. Fleischer, R.L.; Price, P.B. and Walker, R.M. "Solid State Track Detectors: Applications to Nuclear Science and Geophysics". Annual Review of Nuclear Science. 15(1965): 1-27.

33. Mchanghlin, W.L. and Ehrlick, M. "Film bage Dosimetry: How much Fading Occurs?" Nucleonics. 12(1954):34-36.

34. Price, P.B. and Walker, R.M. "Observations of Charged-Particle Tracks in Solid". Journal of Applied Physics.B3(1962): 3403.

35. Ziegler, C.A. and Chleck, D.J. "Latent-Image Fading in Film Bage Dosimeters". Health Physics. 4(1960):32-34.

36. สุปราณี มหาแสน "การศึกษารอยอนุภาคแอลฟาที่เกิดจากยูเรเนี่ยมและธอเรี่ยมโดยวิธีการแทรค-เอทช์" ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2524.

37. Berger, H. "Track-etch Radiography: Alpha, Proton, and Neutron". Nuclear Technology. 19(1973):188-198.

38. ASTM "Standard Method for Fast-Neutron Flux Measurement by Track-etch Technique". American Standard Method Report., 1979.

39. Qaqish, A.Y. and Besant, C.B. "Detection Efficiency and Range Determination of Alpha Particles in Cellulose Nitrate". Nuclear Instruments and Methods. 138(1976):493-505.

40. Fleischer, R.L. and Mogro-Campero, A. "Radon Transport in the Earth: A Tool for Uranium Exploration and Earthquake Prediction". General Electric Report 81CRD208, 1981.

41. Scholz, C.H.; Sykes, L.R. and Aggarwal, Y.P. "Earthquake Prediction: A Physical Basis". Science. 181(1973): 803-810.

ภาคผนวก

สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งของวิธีการแทรค-เอทช์ ก็คือคุณสมบัติของแผ่นวัสดุบันทึกรอยที่ใช้บันทึกรอยอนุภาค ซึ่งจำเป็นต้องทำการทดลอง ในตารางข้างล่างนี้ได้รวบรวมคุณสมบัติการลบเลือนของรอยพิชชั่นแฟรกเมนต์ที่เกิดขึ้นบนแผ่นวัสดุบันทึกรอยแต่ละชนิดไว้ สำหรับรอยอนุภาคที่มีประจุชนิดอื่น ๆ สามารถใช้คุณสมบัติการลบเลือนของรอยพิชชั่นแฟรกเมนต์เป็นแนวทางในการทดลองหาคุณสมบัติการลบเลือนของรอยอนุภาคนั้นบนแผ่นวัสดุบันทึกรอยชนิดต่าง ๆ ได้

ตารางที่ 1

Track Annealing Characteristics

Note: Data given here pertain (except as noted) to fission fragment tracks, which in general will have different annealing characteristics from other tracks. Unless noted differently, all data are for annealing in air at atmospheric pressure. For extensive annealing data for tracks of Kr, Zn, Fe and Cl ions in various silicate minerals, see Price et al. (1973).

	Activation Energy (Electron Volts)			1 Hour Annealing Temperature [°C]			
Material	Total Fading	50% Track Loss	Start of Track Loss	Total Fading	50% Track Loss	Start of Track Loss	Reference
Amber (Baltic)	-	3.0	-	-	110	-	Uzgiris and Fleischer (1971)
Apatite	-	-	-	530	-	400	Fleischer and Price (1964b)
	-	2.2	-	-	336	-	Wagner (1968)
	2.8	2.1	1.62	375	322	275	Naeser and Faul (1969)
Aragonite ($CaCO_3$)	-	-	-	150	-	130	Fleischer et al. (1968a)
Autunite	-	-	-	60	-	40	Fleischer and Price (1964b)
Barysilite	-	3.3	-	-	440	-	Fleischer, Price and Woods (unpub.)
Calcite ($CaCO_3$)	-	-	-	-	200(a)	-	Macdougall (unpub.)
Cellulose acetate (Cellit-T)				165	~160	>100	Somogyi (1972b)
Cellulose nitrate (Nixon-Baldwin)	-	-	-	-	85	-	Fleischer et al. (1965d)
(Daicel; fission frag.)	-	-	-	147	~140	>110	Somogyi (1972b)
(Daicel; alpha particles)	-	-	-	138	~130	<110	Somogyi (1972b)
Epidote	18.2(a)	12.5	6.0	715	680	575	Naeser and Dodge (1969)
	-	8	-	-	650	-	Wagner (1972)
Feldspar (Albite)	~5	-	-	775(b)	-	-	Fleischer et al. (1967)
Feldspar (Anorthite)	-	-	-	~680(b)	550(b)	350(b)	Crozaz et al. (1970)
Feldspar (Bytownite)	-	6.6	-	790	750	690	Fleischer et al. (1965d)
Garnet $(Ca_{2.91}Fe_{.09})\cdot(Fe_{.82}Al_{1.18})\cdot(SiO_4)_3$	8.4	5.4	2.1	690	665	560	Haack and Potts (1972)
Glass (Aluminosilicate Corning 1720)	-	-	-	>500	320	100	Fleischer and Hart (1972c)
Glass (Andesitic impact glass)	2.5	-	1.1	250	-	190	Fleischer et al. (1969a)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Material	Activation Energy (Electron Volts) Total Fading	50% Track Loss	Start of Track Loss	1 Hour Annealing Temperature [°C] Total Fading	50% Track Loss	Start of Track Loss	Reference
Glass (Basaltic, tachylitic impact glasses)	-	2.6	-	-	190 to 225	-	Fleischer et al. (1969a)
Glass (Basaltic)	1.9	1.6	1.3	240	190	140	Macdougall (1973)
Glass (Basaltic, tholeiitic)	-	1.74	-	300	-	280	Fleischer et al. (1968b)
	-	2.2	-	-	275	-	Fleischer et al. (1971c)
	-	2.3	-	-	275	-	Aumento (1969)
Glass (Borosilicate, pyrex)	>2.5	1.2	-	380	302	-	Fleischer (unpub.)
	-	-	-	-	275	-	Fleischer et al. (1965d)
Glass (Lunar black, Apollo 12)	-	1.3	-	-	250	-	Fleischer et al. (1971b)
Glass (Feldspathic)	-	-	-	235	-	200	Fleischer et al. (1968c)
Glass (Lunar green, Apollo 15, >2.6 g/cc)	-	3.5(b)	-	417(b)	337(b)	321(b)	Fleischer and Hart (1972b)
Glass (Lunar green, Apollo 15, <2.6 g/cc)	-	5.3(b)	-	372(b)	307(b)	285(b)	Fleischer and Hart (1972b)
Glass (Libyan desert, 98% SiO_2)	3.6(c)	1.9	1.2(d)	570(c)	460	330(d)	Storzer and Wagner (1971)
	-	-	1.3(e)	-	-	335(e)	Gentner et al. (1969)
Glass (Obsidian)	-	1.8	-	-	390	-	Suzuki (1970)
Glass (Obsidian, .3% H_2O)	-	2.3(f)	-	-	262(f)	-	Lakatos and Miller (1972b)
Glass (Obsidian, .8% H_2O)	-	2.0(f)	-	-	250(f)	-	Lakatos and Miller (1972b)
Glass (Obsidian, 2.2%, H_2O)	-	1.5(f)	-	-	190(f)	-	Lakatos and Miller (1972b)
Glass (Ryolite)	-	1.9	-	-	262	-	Aumento and Souther (1973)
Glass (Phosphate)	-	-	-	300	-	150	Perelygin et al. (1969)
(Phosphate)	-	-	-	190	130	90	Fleischer and Hart (1972c)
Glass (Pitchstone)	-	1.6	-	-	450	-	Storzer (1970)
	-	-	-	700	-	-	Fleischer and Price (1963b)
Glass (Silica)	-	-	-	>500	290	100	Fleischer and Hart (1972c)
	-	-	-	370	-	-	Fleischer and Price (1963b)
Glass (Soda lime)	-	-	-	-	190	-	Fleischer and Hart (1972c)
Glass (NBS soda lime) (4 glasses)		1.5-2.0	0.7-1.2		230	110	Reimer et al. (1972)
Glass (Australian tektite)	2.8	1.7	1.05	510	380	225	Storzer and Wagner (1969)
Glass (Bediasite tektite)	3.5(c)	1.6	.94(d)	510(c)	370	220(d)	Storzer and Wagner (1971)
	2.8(g)	1.6	1.15(e)	490(g)	360	235(e)	Durrani and Khan (1970)
Glass (Indochina tektite)							
1 atm	-	2.51	-	-	500	-	Fleischer and Price (1964a)
10 kbar	-	1.7	-	-	360	-	Fleischer et al. (1965c)
60 kbar	-	.75	-	-	100	-	Fleischer et al. (1965c)
Glass ($V_2O_5 \cdot 5P_2O_5$)	-	1.2	-	-	95	-	Fleischer et al. (1965d)
Hardystonite	-	5.7	-	-	450	-	Fleischer, Price and Woods (unpub.)
Hornblende	-	-	-	630	590	530	Fleischer et al. (1968a)
	-	-	-	750	720	650	Maurette (1970); Crozaz et al. (1969)
	-	-	-	500(h)	315(h)	100(h)	Maurette (1970); Crozaz et al. (1969)
Mica (Biotite)	-	1.7	-	-	-	-	Shukolyukov and Komirov (1966)
Mica (Lepidolite)	-	2.0	-	-	-	-	Shukolyukov and Komirov (1966)
Mica (Muscovite)	-	-	-	540	510	450	Fleischer et al. (1964b)
	-	2.8	-	680	-	510	Widell (1969)
	-	-	-	550	-	275	Perelygin et al. (1969)
	-	-	-	700	670	550	Maurette (1970)
	-	-	-	600(h)	520(h)	290(h)	Maurette (1970)
	-	1.0	-	-	-	-	Shukolyukov et al. (1965)
	-	-	-	>600	540	400	Mehta and Rama (1969)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Material	Activation Energy (Electron Volts) Total Fading	50% Track Loss	Start of Track Loss	1 Hour Annealing Temperature [°C] Total Fading	50% Track Loss	Start of Track Loss	Reference
Mica (Phlogopite)	-	1.8	-	550	-	350	Maurette et al. (1964); Fleischer et al. (1964b)
Monazite	-	0.3-0.7	-	-	300	-	Shukolyukov and Komarov (1970)
Mullite				270(±130)	525(±25)	625(±75)	Fleischer, Hart and Giard (unpub.)
Nasonite	-	5.3	-	450	-	-	Fleischer, Price and Woods (unpub.)
Olivine (1 atm and at 80 kbar)	3.3	-	-	500	-	-	Fleischer et al. (1965c)
Pollucite	-	1.3	-	-	670	-	Fleischer, Price and Woods (unpub.)
Polycarbonate (Lexan)	-	-	-	>185	-	-	Fleischer and Price (1963a)
	-	-	-	-	-	<40	Hart, Giard and Fleischer (unpub.)
				-	170	110	Khan and Durrani (1972a)
(Makrofol)				200	~190	100	Somogyi (1972b)
Pyroxene (Augite)				560(b)	480(b)	300(b)	Crozaz et al. (1970)
Pyroxene (Diopside)	-	~10	-	-	875	-	Fleischer et al. (1967)
	-	-	-	880	850	820	Fleischer et al. (1965c)
Pyroxene (Enstatite)	-	~5(b)	-	-	450(b)	-	Fleischer et al. (1967)
Pyroxene (Hypersthene)	-	-	-	475(b)	-	-	Fleischer et al. (1965c)
	-	-	-	600	-	525	Maurette (1970)
	-	-	-	500(b)	330(b)	300(b)	Maurette (1970)
Pyroxene (Pigeonite)	-	-	-	530	-	500	Fleischer et al. (1968a)
Quartz (SiO_2)(b)	-	-	-	1050	-	1000	Fleischer et al. (1968a)
	4.0	-	-	-	-	-	Kosanke (1972)
Sphene (HCl etch)	5.5	4.0	3.0	637	620	520	Naeser and Faul (1969)
(NaOH etch)	5.5	4.8	4.3	780	740	680	Calk and Naeser (1973)
Zircon (1 atm)	-	3.6	-	-	700	-	Fleischer et al. (1964a)
(80 kbar)	-	3.6	-	-	675	-	Fleischer et al. (1965c)

(a) No fading observed at T < 600°C. (b) Fe-group cosmic ray tracks. (c) 95% loss. (d) 5% loss. (e) 10% loss. (f) 30% loss. (g) 90% loss. (h) Alpha interaction tracks. (i) Synthetic quartz has lower track retentivity.

ประวัติผู้เขียน

นายสิทธิชัย สุนันท์ศิริกุล เกิดวันที่ 11 สิงหาคม 2499 ที่จังหวัดอุตรดิตถ์ จบการศึกษาบัณฑิตสาขาฟิสิกส์จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน เมื่อปีการศึกษา 2523 ประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยีจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2524 และเศรษฐศาสตรบัณฑิต สาขาเศรษฐศาสตร์การคลัง จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อปีการศึกษา 2526 รับราชการในตำแหน่งอาจารย์โรงเรียนในสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ เมื่อปีการศึกษา 2524 เป็นเวลา 1 ปี เข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิตในปีการศึกษา 2525 ในระหว่างการศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอน/วิจัยตลอดการศึกษาเป็นเวลา 2 ปี และเป็นอาจารย์พิเศษโรงเรียนทิวไผ่งาม