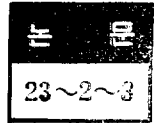


좁은 Channel에서의 磁氣的 Creep

Magnetic Creep in Narrow Channel



朴 英 傑*

(Young Kul Park)

Abstract

Nature of magnetic creep phenomena in low coercive force films (Ni 80%—Fe 20%) in form of narrow channels imbedded in high coercive force films is studied in this work. Aluminium is evaporated on the hot glass substrate and etched free in the shape of narrow channels by photoetching method. Then, Permalloy (Ni 80%, Fe 20%) is deposited on these Aluminium substrate under the uniform field of 30(Oe) to introduce anisotropy. Permalloy film on Al has a high coercive force and one on the substrate devoid of Al has low coercive force.

Magnetic reverse domain which is introduced at the end of channel grows under the a.c field in hard axis direction, in spite of very weak d.c field in easy axis direction. This creeping is investigated as a function of external fields and channel widths. Permalloy film thickness is 500Å~900Å and channel widths are 40, 51, 65, 81, 115μ respectively. Creeping increases as external field increases while it decreases with channel width decrease. Creep velocity in channels depends on the a.c field along hard axis, d.c field along easy axis and channel widths and its range is 1—10cm/sec in this experiment. From study of dependence of creep velocity on channel width, it can be concluded that creep velocity is expressed in form of $v=v_0 \exp \alpha (H-H_0)$ where α is a function of a.c field along hard axis and H is driving d.c field along easy axis. H_0 is not a coercive force of film as usually expected but the d.c threshold field along easy axis which is a function of channel width. This characteristic is also confirmed by the study of dependence of creep velocity upon easy axis field strength. Value of α obtained is 1.3—2.3cm/sec Oe depending upon film character, hard axis field strength and frequency.

1. 序 論

자성박막은 그 구조가 2次元的이라 볼수 있고 그 자화는 거의 박막면내에 놓여있다. 자성박막을 증착할때 자제를 걸어주면 일축이방성(uiaxial anisotropy)이 생겨 제작시 걸어준 자제의 방향으로는 자화가 하기 쉽

고 그것에 수직인 방향은 자화하기가 어려워 容易軸(E.A)後者를 困難軸(H.A)이라 한다. 이런 자성박막을 이용한 기억소자에 정보를 저장하기 위해서는 일반적으로 곤란축(HA) 방향의 unipolar field pulse(word pulse)와 용이축(EA)방향의 음 또는 양의 dc field pulse(bit field)를 사용한다. word line에 의해 HA 방향에 주어지는 자제는 기억소자의 자화를 HA방향으로 회전시키고 word pulse가 끝나 기억소

*正會員 : 仁荷大教授

자의 자화가 EA의 한 방향으로 회전하려는 무렵에 bit line에 의해 EA방향의 양 또는 음의 bit pulse가 주어져서 기억소자는 1 또는 0을 기억한다. 이렇게 기억된 한 소자의 정보는 그 이웃에 있는 word line에 pulse가 여러번 지날때 일반적으로 교란을 받게된다.

이 정보의 교란은 magnetie wall creep현상에 기인되는 것으로 알려져 있으며 좋은 박막기억장치의 설계를 위해서 creep 현상이 많이 연구되고 있다.

일반적으로 자성박막의 자화반전기구는 인가한 외부자계의 크기 및 방향에 따라서 세가지로 대별된다. 자화반전이 가장 느린것은 자력이 HA방향으로 이동하여 일어나는 반전으로서 그 속도는 10^3cm/sec 정도이다. 가장 빠른 반전은 전박막의 자화가 일제회전하는 경우 얻어진다. 이때의 반전시간은 수 nanosecond에 달한다. 위의 두경우의 중간에 해당하는 반전기구는 자화의 incoherent rotation에 의한 것으로 좁은 channel형의 박막에서의 자화반전은 이현상에 가까운 것이다.

channel형 박막을 한방향으로 포화시킨 후 한끝에 작은 반전자구를 도입하고 d.c field를 걸어 그 크기가 어느 한계치에 달하면 channel끝의 반전자구는 성장한다. 이때 반전자구의 성장속도는 10^4cm/sec 정도에 달한다.

그러나 d.c field가 이 한계치보다 작다 하더라도 그것에 수직인 HA방향에 ac field를 걸어주면 반전자구는 서서히 성장한다. 이때 생기는 느린 자벽의 이동현상이 creep 현상이며 1962년에 처음으로 Middlehock^{1,2)}에 의해 이런 느린 자벽의 운동은 HA 방향에 ac 또는 pulse field가 주어지고 EA방향에 d.c field가 주어지는 경우에만 일어난다는 것이 밝혀졌다. 또한 이런 creep switching은 HA 방향에 주어지는 word pulse의 rise time와 fall time 동안에만 일어난다는 것도 밝혀졌다.³⁾

creep 현상의 성질을 밝히기 위한 여러가지 model과 mechanism^{4,5,6,7)}가 발표된바 있으나 아직도 그 특성이 완전히 알려지지 않고 있다.

본 실험에서는 all magnetic logic회로 또는 logic tree에 사용되는 좁은 channel내에서의 creep 현상을 조사하였다. 큰 보자력을 갖는 자성박막속에 EA 방향으로 channel형의 약한 보자력의 permalloy막을 도입하고 이것에 HA방향에는 a.c field를 걸면서 EA 방향에 dc field를 걸때 일어나는 느린 자벽의 이동현상을 조사하였다. 본실험에서 얻은 자벽의 이동속도는 1cm/sec 정도로서 이것에 HA 방향의 field가 주는 영향과 creep velocity의 특성 및 channel폭이 이들과 갖는 관계를 조사하고 이것에서부터 creep

velocity가 외부자계와 갖는 함수관계를 추리하였다. channel 내에서의 domain tip의 진행현상은 Spain⁸⁾ 및 Mastushita¹⁰⁾에 의해 조사된바 있고 Sugatan¹¹⁾ 등이 일정한 폭의 channel 내에서 일어나는 creep 현상을 조사한바 있으나 channel 내에서의 creep velocity의 특성을 밝히지는 않았다.

2. 實 驗

시료의 제작은 다음과 같은 절차를 밟았다. slide glass위에 Al를 10^{-6}mmHg 이하의 진공도에서 약 500\AA 의 두께로 증착하고 이것에서 폭이 각각 $40\mu, 51\mu, 65\mu, 81\mu, 115\mu$ 되는 channel에 따라 Al를 photoetching의 방법으로 제거하였다. 이것을 기판으로하여 다시 그위에 진공도 $5 \times 10^{-6}\text{mmHg}$ 로 두께가 $500\text{\AA} \sim 900\text{\AA}$ 되게 permalloy(Ni80%—Fe20%)를 진공증착하였다. 이때 기판의 온도는 300°C 로 유지했으며 일축이 방성을 도입하기 위해 30 Oe의 균일한 자계를 걸어주었다. 이렇게하여 얻어진 permalloy 막에서 Al 위에 있는 막은 큰 보자력(~ 15 Oe)를 가지며 Al가 제거된 유리판위에 증착된 channel형의 permalloy막은 작은 보자력(1.2~3 Oe)을 가진다. 시료제작에 사용한 眞空蒸着器는 Varian계 NRC 3115로 그림 1은 그사진이고 그림 2는 얻어지는 시료의 모양이다.

얻어진 시료에 HA 방향에 a.c field를 걸어주고 EA방향에 d.c 또는 pulse field를 걸어주기 위해서 그림 3과 같이 서로 직교하는 두쌍의 Helmholtz Coil와 그중의 하나에 나란하게 설치한 폭이 0.5mm되는 strip line을 사용했다.

Heathkit 1GW-47B Signal Generator에서 얻은 주파수 500, 1K, 1.5K, 2K Hz의 sin파를 Helmholtz

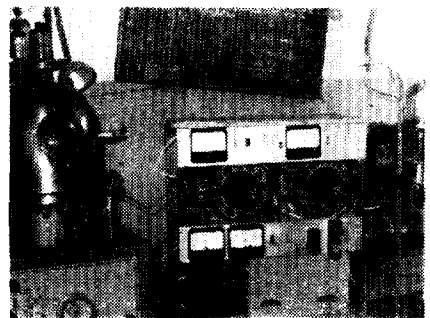


그림 1. 증착 장치
Fig. 1. Evaporator

coil에 주어 이것에서 얻은 a.c field를 시료의 HA방향에 걸어주었으며 그 field의 세기는 coil와 직렬로 연결된 저항에 걸리는 전압과 전류에서 부터 구했고 실험치로 표시했다. strip line에는 Dumont 792A pulse

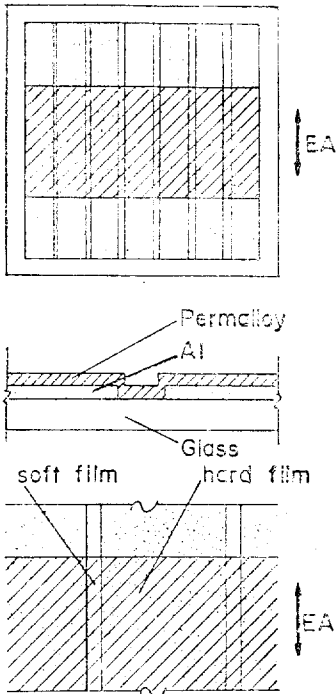


그림 2. 시료의 모양
Fig. 2. Structure of sample.

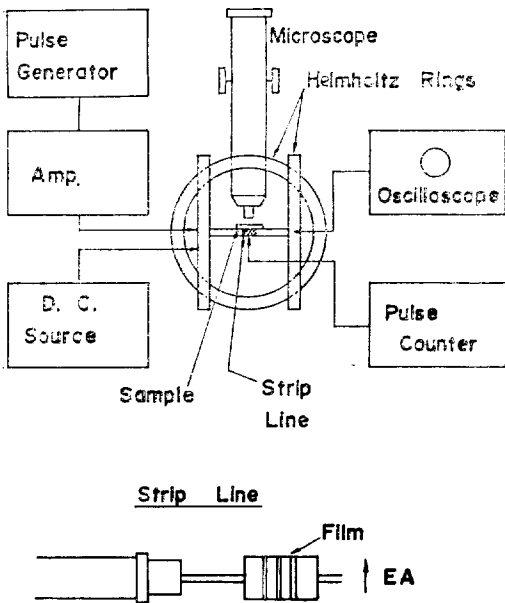


그림 3-(a) 측정장치의 block diagram
Fig. 3-(a) Block diagram of measuring system.

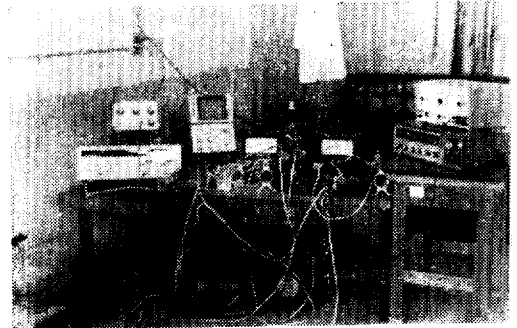


그림 3-(b) 측정장치의 사진
Fig. 3-(b). Picture of measuring system.

generator에서 얻는 rise time이 200 nsec, fall time이 100 nsec이고 폭이 4 msec인 pulse를 공급하여 시료의 EA방향에 pulse field를 걸어주었다. 이 pulse field⁵⁾는 다른 논문에서 밝힌바와 같은 방법으로 calibration했으며 sin파나 pulse의 파형 및 세기를 측정할때는 Hewlett-Pacard, 181A Oscilloscope를 사용했고 pulse수를 측정할때에는 Heathkit Universal Digital Instrument EU-805를 사용했다.

자벽속도 측정에 앞서 박막을 HA방향으로 포화시켰

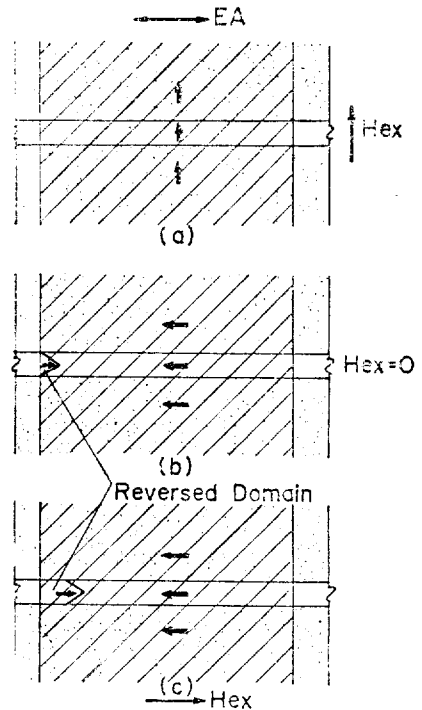


그림 4. Channel내부의 역자구
Fig. 4. Reverse domain in channel.

다가 갑자기 외부장계를 0으로 하면 박막의 자화는 EA의 한방향으로 회전하고 channel의 한끝에 쇠기모양의 작은 역자구가 생긴다. 이 역자구의 자화방향으로 pulse를 주면 이 역자구는 점차 성장한다. 그 모양이 그림 4이다. 이때 자구첨단의 위치 및 변위는 Bitter powder pattern법을 써서 현미경으로 직접 또는 사진촬영으로 측정하였다. 이 측정치에서 부터 자벽의 속도 V 는 다음과 같이 구해진다.

$$V = \frac{S}{nt}$$

여기서 S 는 측정된 자벽의 변위이고 n 는 pulse수, t 는 pulse의 폭이다.

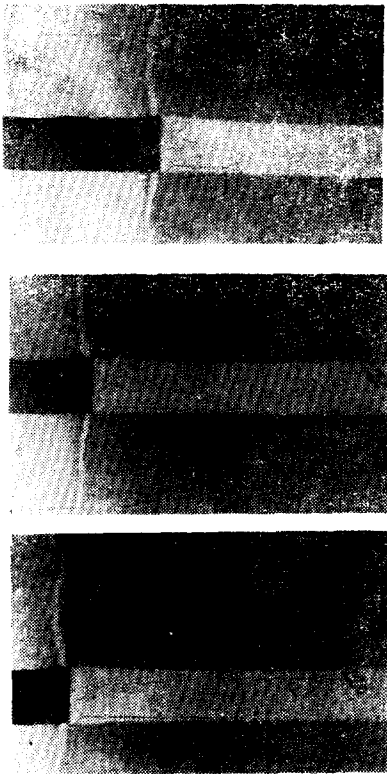


그림 5. Channel내에서의 자벽이동사진
Fig. 5. Picture of magnetic domain wall propagation in a channel.

이때의 자벽의 이동속도는 EA방향에 걸어주는 pulse field의 주파수나, 폭에는 무관하다.¹²⁾ 얻어진 시료에서 역자구가 성장하는 사진이 그림 5이다.

일반적으로 자벽의 creep효과는 박막의 두께에 따라 다르며 cross-tie구조가 가장 현저한 두께인 300Å~900Å영역에서 creeping이 가장 심하게 일어남이 밝혀져 있다.^{13,14)} 따라서 본실험에서는 이런 영역의 두께의 막에 대해서 주로 조사했다. 얻어진 data는 여러 시료층에서 그 hysteresis곡선이 4각형에 가깝고, H_c (보자력) < H_k (c방향자계)인 정상박막중에서 두께가 작

각 610Å, 740Å 860Å인 시료에 대한 값이다. 다른 시료에서 얻은 data도 이들과 거의 비슷하다.

두께는 Tolansky의 multiple beam interferometry의 방법으로 측정하였다.

3. 結果 및 考察

HA방향에 a.c field를 걸어주면 작은 EA방향의 d.c field에서도 일어나는 느린 자벽운동의 성질을 조사하기 위해 폭이 115μ되는 channel의 한끝에 도입된 역자구가 미리 정해진 일정한 곳까지 이동하는데 요하는 EA방향의 d.c field와 HA방향의 sine wave field의 관계를 조사한 것이 그림 6이다. 이때 가해진 EA field는 그것 만으로는 자벽이동이 불가능한 작은 field이다. 같은 그림에 표시된 이론적인 반전곡선 $H_x^2 + H_y^2 = H_k^2$ 와 비교할 때 측정점은 언제나 이 곡선보다 낮으며 자벽의 이동속도는 1cm/sec정도 이므로 이런 자벽의 운동은 creep 현상이다.

HA field의 주파수를 증가시키면 더 작은 EA field에서도 자벽의 이동이 생기며 creep 현상은 HA field의 주파수가 증가할수록 현저해짐을 알수 있다.

이것은 creeping이 HA field에 의해서 activate

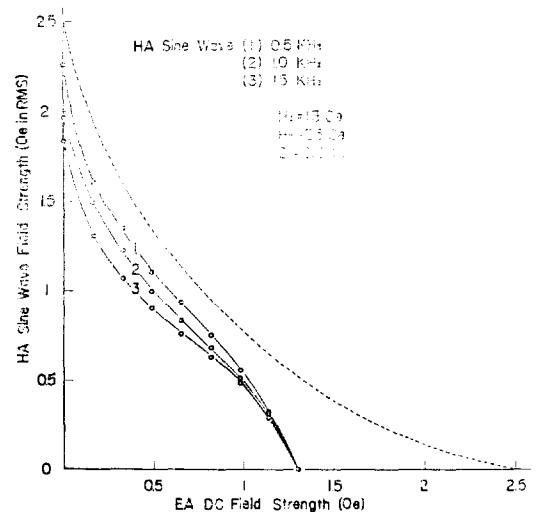


그림 6. Creeping이 생기는 EA와 HA field의 관계
Fig. 6. Relation between EA and HA field for creeping.

되는 자벽의 운동임을 암시한다.

일정한 EA field하에서 creeping이 일어나는 HA field의 영역을 조사한 것이 그림 7이다. HA field의 세기에 따라 creep velocity는 많이 달라지지만 EA

field가 커질수록 creeping 이 일어나는 HA field의 세기가 적어질뿐 아니라 그 영역도 좁아지며 EA field가 한계자계 H_0 가 될때 HA field의 범위는 0이 되고 만다. 일정한 EA field하에서 HA field의 세기를

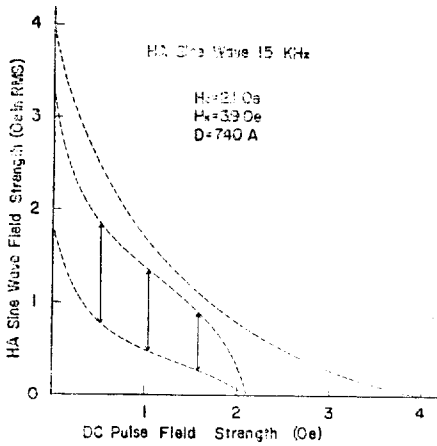


그림 7. Creeping이 생기는 외부자계의 범위
Fig. 7. Range of external field for creeping

parameter로 하여 channel내의 creep velocity를 그 channel 폭의 함수로 추적한 것이 그림 8이다. 여기서 얻은 data로 log V와 channel폭의 역수사이의 관계를 조사한 것이 그림 9이다. 이것에 의하면 creep velocity가 channel폭의 역수에 따라 지수적으로 감소함을 알 수 있다.

creep velocity의 특성을 더 조사하기 위해 EA 및 HA field의 세기를 일정히 하고 channel폭을 parameter로 하여 creep velocity를 HA field의 주파수의 함수로 추적한 것이 그림 10이다. 이 그림은 외부자계가 일정할때 creep velocity는 HA field의 주

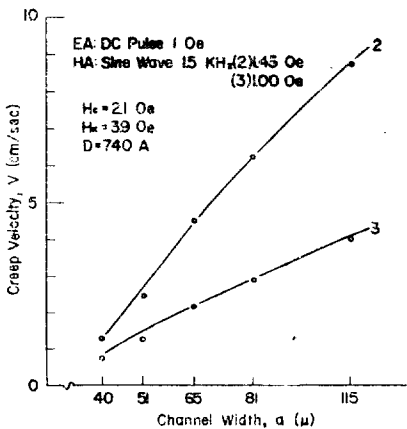


그림 8. Creep velocity와 channel폭의 관계
Fig. 8. Relation between creep velocity and channel width.

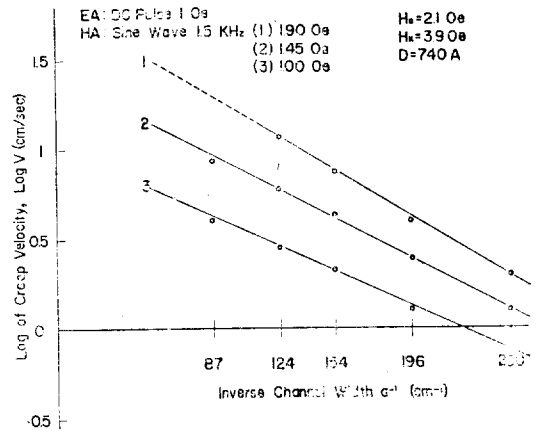


그림 9. Creep velocity의 대수와 channel 폭의 역수와의 관계
Fig. 9. Relation between log of creep velocity and inverse channel width.

파수에 비례함을 표시한다. 이 data에서 log V와 channel폭의 역수사이의 관계를 구한 것이 그림 11이다. 이 그림도 역시 외부자계가 일정할 때 creep velocity는 channel폭의 역수의 지수함수로 표시됨을 나타낸다. 그리하여 channel 내의 creep 현상에서는 그 속도가 channel폭의 역수의 지수함수로 표시되는

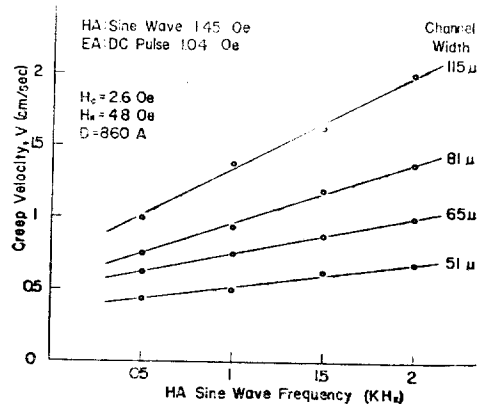


그림 10. Creep velocity와 HA field의 주파수와의 관계
Fig. 10. Relation between creep velocity and frequencies of HA field.

것이 특색이라 할 수 있다.

그림 9와 그림 11에서 표시된바와 같은 creep velocity의 channel폭에 대한 의존성을 해석하기 위해 creep 현상이 HA field에 의한 activated motion이라는 점에 주목한다. Bloch line motion theory^{1,15)} 및 wall structure change theory¹⁶⁾에서 이미 설명된

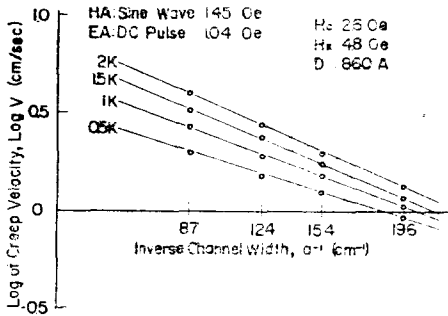


그림 11. Creep velocity의 대수와 Channel 폭의 역수와의 관계
Fig. 11. Relation between log of creep velocity and inverse channel width.

바와 같이 HA field에 의해 자벽내의 Bloch line이 이동하거나 자벽의 구조가 불안정하게 변해서 자벽이 쉽게 이동할 수 있는 상태로 excite된다. 이때 약한 EA field가 주어지면 자벽은 그 자체방향으로 이동하게 된다. HA field가 커져서 자벽의 구조의 변화 또는 불안정성이 심할수록 creeping은 현저해진다. 한편 EA field가 점차로 커져서 한계자계 H_0 에 가까워질수록 자벽이동이 더 심하게 일어날 것이 기대된다. 이리하여 creep velocity는 자벽을 excite시키는 HA field인자와 자벽을 이동시키는 EA field인자의 서로 분리된 두 인자의 함수로 표시되며 이현상이 확실적인 성질¹⁷⁾을 갖기 때문에 creep velocity는 EA 및 HA field의 지수함수형으로 표시될 것이 기대된다.

이미 1966년에 R. V. Telesnin¹⁷⁾등이 그들의 실험을 통하여 creep velocity가 외부자계의 지수함수로 표시된 것을 논한바있다. 그들에 의하면 creep velocity는 다음과 같은 외부자계의 지수함수로 표시된다

$$V = V_0 \exp d(H - H_0) \quad (1)$$

여기서 V : creep velocity

H : EA 방향의 d.c. field

a : HA field에 의해 정해지는 함수

channel의 방법을 사용한 본실험에서는 creep 현상에서 상기식이 성립함을 확인할 수 있을 뿐만아니라 아직 정하지 못하던 a 의 값마저도 결정할 수 있다.

본실험에서는 (1)식의 H_0 를 d.c. field만으로 자벽이동이 생기는 한계자장으로 취한다. 그러면 다른 논문에서 밝힌바와 같이¹⁶⁾ channel내의 자벽운동의 에너지관계에서부터

$$H_0 = H_c + \frac{\sigma}{M} a^{-1} \quad (2)$$

을 얻는다. 여기서 H_c 는 탁막의 intrinsic coercive force, M 는 포화자화, σ 는 자벽 energy 밀도, a 는 channel의 폭을 표시한다.

이 관계를 식 (1)에 쓰면

$$\log V = \log V_0 + \log e \cdot \alpha \left(H - H_c - \frac{\sigma}{M} a^{-1} \right)$$

가 되고 외부자계가 일정하고 channel 폭만이 변할 때에는

$$\log V = C - \left(\alpha \log e \cdot \frac{\sigma}{M} \right) a^{-1} \quad (3)$$

가 된다. (3)식에서 $\log V$ 와 a^{-1} 의 관계를 그리면 그림 9 및 그림 11과 같은 직선성을 갖는다.

그리하여 channel내의 creep velocity는 식(1)과 같은 형식의 지수함수로 표시된다고 확인할 수 있다.

또한 그림 9 및 그림 11의 직선의 기울기에서 부터 α 의 값을 구할 수 있다. α 는 HA field의 세기 및 주파수가 증가하면 증가하는 함수이다.

permalloy의 경우 포화자화 $M=800G$ ¹⁸⁾ 및 자벽 energy 밀도 $\sigma=5erg/cm^2$ (두께 750Å인 경우임)의 값을 써서 (3)식을 이용하여 본실험에서 얻은 α 의 값은 표 1과 같다.

위에서 논한 주리가 정당한 것인가를 알아보기 위해서 creep velocity의 EA field의존성을 조사한 것이 그림 12이다.

이 그림에서는 측정치가 적기 때문에 정상적인 경향

표 1

시	료	EA field의 세기 (Oe)	HA field		α (cm/sec-Oe)
			세기 (Oe)	주파수 (Hz)	
1	$H_c=2.6$ Oe	1.04	1.45	2 K	1.65
	$K_K=4.8$ Oe	"	"	1.5K	1,545
	$D=860$ Å	"	"	1 K	1.37
		"	"	0.5K	1.18
2	$H_c=2.10$ Oe	"	1.90	1.5K	2.22
	$H_K=3.90$ Oe	"	1.45	"	1.92
	$D=740$ Å	"	1.00	"	1.70

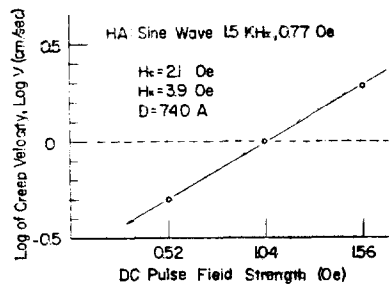


그림 12. Creep velocity의 대수와 EA field와의 관계

Fig. 12. Relation between log of creep velocity and EA field.

만을 추리할수 있으나 creep velocity가 EA field의 지수함수로 표시되며 식(1)과 같은 형식을 갖는 것을 잘 나타내고 있다. 또 이 그림의 기울기에서 구한 α 의 값은 1.35cm/sec로서 앞에서 구한 α 의 값과 대단히 잘 일치한다.

4. 結 論

좁은 channel내에서 일어나는 creep 현상을 조사하였다. channel의 폭이 좁을 수록 creeping는 덜 일어나며 channel내에서의 crepe velocity는 $V = V_0 e^{\alpha(H-H_0)}$ 형으로 표시됨을 확인했다. 여기서 α 의 값은 막의 성질에 따라 다르지만 HA field의 함수가 되며 H는 EA field의 세기이다.

본 실험에서 얻은 α 의 값은 1~2.3cm/sec Oe 범위에 있으며 HA field의 세기 및 주파수가 증가함에 따라 증가 한다.

(後記) 본실험은 인하대학교 산업과학연구소의 연구비로 동대학 응용물리학과 실험실에서 행하였기에 대학당국에 심심한 사의를 표한다.

參 考 文 獻

- 1) S. Middelhoek. Z. angew Phys. 14, 191 1962
- 2) S. Middelhoek, IBK J. Res. Dev, 6,140 1962
- 3) A.H. Anderson, T.S. Crowther and J.I. Raffel, J. Appl. Phys. 34, 1165 1963
- 4) A.L.Olson and E.J. Torok J. Appl. Phys.

- 36, 1085 1965
- 5) A. Green, K.D. Leaver, R.M. Livesay, and M. Prutton, Proc. Internat'l Conf on Magnetism 807, Sept 1964
- 6) E. Fuchs, and H. Pfisterer, Proc. 5th Internat'l Cong for Electron microscopy 114 1962
- 7) A. Green, K. D. Leaver, and M. Prutton, J. Appl. Phys. 35, 812 1964
- 8) Y.K.Park, New Physics (to be published)
- 9) R.J. Spain J. Appl. Phys. 37, 2572 1966
- 10) S. Matsushita, K. Konishi and Y. Sakurai J. Appl. Phys. 42, 1821 1971
- 11) S. Sagatani, K. Konishi and Y. Sakurai I.E.E.E. Trans. Mag.4, 445 1968
- 12) C.E. Patton and F.B. Humphrey J. Appl. Phys. 37, 4269 1966
- 13) A.L. Olson and E.J. Torok, J. Appl. Phys. 36, 1085 1965
- 14) G.P. Gagnon and T.S. Crowther, J. Appl. Phys. 6, 156 1965
- 15) S. Middelhoek and D. Wild IBM J. Res. Devl.11, 93 1967
- 16) T.H. Beeforth and P.J. Hulger, Nature 199, 793 1963
- 17) R.V. Telesmin, E.N. Ilicheva, N.G. Konavina and A.G. Shishkov Phys. Stat. Sol. 14, 363 1956
- 18) Y.K. Park, New Physics 84 13 1973