NIPPON KINZOKU GAKKAI-SI

Vol. 3, No. 3, March 1939

日本金屬學會誌

第3巻 第3號 昭和14年3月

研 究

低温度及び高温度に於ける鐵-珪素系 合金の縦磁場による電氣抵抗の變化*

白 川 勇 記**

Yûki Sirakawa: On the Longitudinal Magneto-Resistance Effect at Various Temperatures in Iron-Silicon Alloys. The change in electric resistance ($\Delta R/R$) of alloys of the system iron-silicon at various temperatures ranging from -195° to 850° was measured up to 1600 oersteds by the longitudinal magnetic fields. The specimen used was a fine wire, 0.033~0.077 cm in diameter and 1.52~6.40 cm in length.

It is shown that the anomaly in $\Delta R/R$ of iron at about -100° (field intensity of 1500 oersteds) displaces toward higher temperatures with the increasing addition of silicon, and then the magnitude of $\Delta R/R$ gradually decreases in respect to silicon content. The $\Delta R/R$ of the alloys containing more than 9.43 % Si at all temperatures and under any magnetic field is negative, its magnitude being especially large in alloys containing 14.60 % and 16.03 % Si.

(Received July 7, 1938)

I. 緒 言

強磁性體の磁化に伴ふ電氣抵抗の變化即ち磁氣-抵抗効果はこれ迄澤山の人々⁽¹⁾によつて研究された。近年著者は合金について初めて系統的に種々の温度に於ける磁氣-抵抗効果を測定し、既に Ni-Cu 系⁽²⁾, Ni-Co 系⁽³⁾ 及び Fe-Ni 系⁽⁴⁾ 合金につき重要な結果を得た。

從來の測定によると Fe の高磁場に於ける磁氣-抵抗効果は -100° 附近に於て最大となり大なる異常性を示し

てゐる。著者は更にこの異常性を研究する爲に Fe に種々なる元素を添加してその異常性の變化を測定する事にした。次には先づ Fe-Si 系合金の測定結果につき報告することにする。

II. 試 料

合金を作るに用ひた材料は日本電解製鐵所製の電解鐵と Merk 製 Si で、Table 1 はその化學分析の結果を示す。試料を作るには、先づこれ等の金屬の適當量をアルミ

Table 1.

Metals	Fe(%)	Si(%)	Ni(%)	Co(%)	Cu(%)	Al(%)	Mn(%)	C(%)	P(%)	S(%)	Mg(%)	Sb(%)	Sn(%)
Electrolytic Iron	—	0.05	None	0.02	None	0.01	0.02	0.04	0.05	0.00 ₃	—	—	—
Silicon	0.45	99.15	—	—	—	0.31	—	—	—	—	0.00	0.00	0.12

** 東北帝國大學金屬材料研究所。

* 本研究は昭和13年6月18日、日本金屬學會仙臺地方第2回講演會に於て發表したものである。

(1) L. L. Campbell, "Galvanomagnetic and Thermomagnetic Effects" Longmann, Green & Co., (1923), 158.

(2) 増本, 白川, 東北帝大理科報告, 25 (1936), 104.

(3) 白川, 東北帝大理科報告, 本多記念號, (1936), 326.

(4) 未發表。

Table 2.

Specimen Number	Si (%)	Diameter (cm)	Length (cm)
Fe	0.05	0.0617	5.24
1	0.66	0.0590	4.06
2	1.66	0.0719	4.05
3	5.81	0.0623	6.40
4	9.43	0.0436	3.77
5	13.51	0.0772	3.20
6	14.60	0.0333	1.52
7	16.03	0.0456	3.80
8	21.71	0.0512	3.20

ナ坩堝に入れ、水素を通じ乍らタンマン爐で熔解した。次にその溶液中に内径約0.5mmの石英管を挿入して吸あげ長さ3~6cmの細線を作つた。更にこれをニクロム線を無誘導に巻いた電氣爐中に東西に置き、真空中にて1000°, 1時間加熱の後10分間に50°の割合を以て冷却した。最後にこれを顯微鏡にて多結晶なることを確め試料とした。試料の両端にはPt線を純銀にて燐着けして電流の導線とし、これを著者が常用して居る測定装置⁽²⁾に取付け高度真空中にて850°, 1時間加熱し10分間に50°の割合を以て冷却した。尚ほ出来るだけ地磁氣の影響を

避ける爲に試料は常に東西に向けて測定を行つた。測定方法も前報と同様なのでこゝには述べないことにする。

試料の化學分析の結果及び寸法はTable 2に示す通りである。

III. 測定結果

測定結果はTables 3~11に示してある。表中 R は試料の全抵抗(ohm), H は外部から加へた縦磁場(oersted), $\Delta R/R$ は磁場による電氣抵抗の變化である。こゝに H は外部磁場であるが、試料の寸法比がTable 2に示す様に非常に大きいので殆んど有効磁場と考へてよい。測定値は凡べて加熱の際に取られたものである。尚ほこれ等の値を圖示すると Figs. 1~9 の如くなる。

Feの磁氣-抵抗曲線(Fig.1)は溫度によつてその形を變へる。即ち比較的低溫に於ては $\Delta R/R$ は磁場が増すと共に始めは比較的急に増加するが、漸次増加の割合を減じて遂に飽和に達する。然るに約300°以上の曲線に於ては一般に或る磁場に於て正の極大が現はれ、殊に磁氣變態點近くの溫度に於ては $\Delta R/R$ は強磁場に於て負の値を取る様になる。

Table 3. Magneto-Resistance of Iron.

- 195°		- 95°		12°		98°		200°	
$R = 0.00354$		$R = 0.00992$		$R = 0.01797$		$R = 0.02515$		$R = 0.03633$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
18.3	0.00	36.6	0.03	18.3	0.018	18.3	0.012	18.3	0.014
60.8	0.03	86.1	0.08	48.8	0.028	48.8	0.039	48.8	0.032
149	0.05	149	0.13	91.8	0.058	91.5	0.056	91.6	0.061
243	0.05	237	0.16	152	0.098	151	0.095	155	0.096
433	0.10	437	0.25	241	0.170	240	0.154	256	0.156
620	0.09	624	0.31	437	0.267	441	0.238	436	0.198
935	0.09	932	0.31	620	0.289	622	0.252	610	0.209
1253	0.10	1245	0.33	922	0.309	915	0.261	918	0.212
		1576	0.34	1223	0.314	1226	0.272	1226	0.213
				1552	0.316	1559	0.275	1545	0.216

300°		400°		510°		591°		709°	
$R = 0.05034$		$R = 0.06637_5$		$R = 0.09091$		$R = 0.10908$		$R = 0.13957$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
18.3	0.0111	18.3	0.0090	18.6	0.0362	19.1	0.0403	18.4	0.0430
48.8	0.0345	48.8	0.0383	50.0	0.0593	48.9	0.0714	48.8	0.0506
93.4	0.0619	92.8	0.0689	85.1	0.1011	89.1	0.0842	86.7	0.0607
152	0.1018	152	0.1024	153	0.1011	152	0.0852	146	0.0643
262	0.1474	244	0.1297	244	0.1012	241	0.0852	244	0.0500
425	0.1716	436	0.1249	429	0.1100	429	0.0852	439	0.0607
610	0.1728	610	0.1321	621	0.0990	618	0.0842	628	0.0430
916	0.1787	922	0.1397	929	0.0979	905	0.0815	924	0.0394
1226	0.1716	1226	0.1291	1215	0.0968	1221	0.0750	1231	0.0322
1537	0.1696	1543	0.1249	1374	0.0924	1380	0.0614	1478	0.0286

760°		771°		780°		790°		800°	
$R = 0.15660$		$R = 0.16131$		$R = 0.16450$		$R = 0.16916$		$R = 0.17127$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
18.3	0.0300	18.4	0.0136	18.8	0.0122	18.5	0.0011	18.3	0.0004
49.0	0.0421			48.9	0.0134	49.5	-0.0100	48.8	-0.0093
92.7	0.0319	87.9	0.0186	91.5	0.0122	89.1	-0.0005	84.8	-0.0027
149	0.0306	128	0.0155	136	-0.0073	152	-0.0005	153	-0.0023
247	0.0319	247	0.0118	244	-0.0183	241	-0.0047	249	0.0040
434	0.0127	437	-0.0074	435	-0.0457	429	-0.0094	436	-0.0040
622	0.0070	619	-0.0167	624	-0.0731	615	-0.0035	617	0.0052
926	-0.0127	920	-0.0434	926	-0.1155	920	-0.0165	934	0.0029
1226	-0.0351	1222	-0.0694	1225	-0.1520	1217	-0.0112	1144	-0.0070
1407	-0.0415	1482	-0.0868	1454	-0.1957	1358	-0.0141		

Table 4. Magneto-Resistance of Specimen No. 1. (0.66% Si).

-195°		-95°		10°		100°		201°		-195°		-95°		10°		121°		210°	
$R = 0.02281$		$R = 0.02834$		$R = 0.03459$		$R = 0.03911$		$R = 0.04635$		$R = 0.01390$		$R = 0.01995$		$R = 0.02779$		$R = 0.03634$		$R = 0.04481$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
17.8	-0.002	17.8	-0.005	18.3	0.000	18.3	-0.001	18.3	-0.002	17.8	0.000	17.8	0.001	18.3	0.000	18.3	0.009	18.3	0.003
47.5	-0.005	47.5	-0.007	48.8	-0.003	48.8	-0.002	48.8	0.000	47.5	-0.002	47.5	-0.003	48.8	0.002	48.8	0.017	48.8	0.014
89.7	-0.010	91.5	-0.011	91.6	-0.006	91.6	-0.002	94.7	0.008	90.3	-0.004	89.1	0.003	94.0	0.015	94.0	0.024	91.6	0.033
149	-0.016	149	-0.016	151	-0.001	152	0.007	152	0.020	150	-0.008	148	-0.001	153	0.030	152	0.051	152	0.060
238	-0.028	238	-0.017	241	0.003	243	0.015	244	0.037	237	-0.013	239	+0.021	246	0.048	255	0.082	245	0.097
422	-0.045	416	-0.022	439	0.003	442	0.029	440	0.058	429	-0.013	417	0.027	439	0.089	447	0.133	440	0.137
654	-0.056	654	-0.025	666	0.012	668	0.035	666	0.070	604	-0.024	604	0.046	612	0.097	613	0.142	616	0.142
891	-0.056	886	-0.027	919	0.011	924	0.039	922	0.070	904	-0.013	889	0.046	930	0.097	932	0.140	980	0.146
1212	-0.056	1237	-0.025	1228	0.013	1235	0.039	1234	0.074	1229	-0.013	1220	0.038	1229	0.097	1231	0.142	1231	0.142
1509	-0.053	1531	-0.025	1526	0.009	1561	0.042	1550	0.074	1520	-0.019	1521	0.035	1591	0.098	1566	0.142	1557	0.141

Table 5. Magneto-Resistance of Specimen No. 2. (1.69% Si).

300°		402°		505°		552°		703°		302°		399°		500°		599°		700°	
$R = 0.05479$		$R = 0.05578$		$R = 0.06606$		$R = 0.07565$		$R = 0.09099$		$R = 0.05474$		$R = 0.06701$		$R = 0.08262$		$R = 0.10042$		$R = 0.12107$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
18.3	0.0008	18.3	0.0023	18.3	0.0085	18.3	0.0074	18.3	0.0251	18.3	0.0111	18.3	0.0101	18.3	0.0133	18.3	0.0274	18.3	0.0343
48.8	0.0034	48.8	0.0080	48.8	0.0360	48.8	0.0288	48.8	0.0427	48.8	0.0234	48.8	0.0303	48.8	0.0442	48.8	0.0620	48.8	0.0573
93.4	0.0195	91.6	0.0369	91.6	0.0500	91.6	0.0524	91.6	0.0485	92.1	0.0433	92.4	0.0601	93.4	0.0792	89.7	0.0879	91.5	0.0603
152	0.0368	152	0.0624	152	0.0615	152	0.0733	152	0.0498	152	0.0755	153	0.1065	152	0.1025	152	0.0921	151	0.0635
246	0.0547	244	0.0641	244	0.0735	244	0.0650	244	0.0441	243	0.1188	244	0.1290	251	0.1125	249	0.0970	247	0.0659
438	0.0703	437	0.0895	430	0.0740	436	0.0733	437	0.0395	440	0.1475	446	0.1308	402	0.1180	418	0.0983	431	0.0622
666	0.0725	613	0.0808	614	0.0795	612	0.0506	613	0.0427	612	0.1441	613	0.1313	614	0.1051	611	0.0947	613	0.0614
923	0.0714	926	0.0750	921	0.0805	912	0.0536	924	0.0290	930	0.1429	934	0.1331	922	0.1080	916	0.0889	930	0.0512
1233	0.0737	1228	0.0693	1234	0.0660	1235	0.0488	1240	0.0230	1250	0.1405	1243	0.1331	1237	0.1072	1237	0.0844	1232	0.0480
1541	0.0737	1498	0.0734	1500	0.0635	1519	0.0462	1570	0.0014	1544	0.1381	1578	0.1240	1528	0.0992	1528	0.0763	1505	0.0337

745		776°		789°		801°		820°		773°		790°		799°		810°		821°	
$R = 0.09884$		$R = 0.10396$		$R = 0.10671$		$R = 0.10850$		$R = 0.11040$		$R = 0.14073$		$R = 0.14595$		$R = 0.14825$		$R = 0.15040$		$R = 0.15199$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
18.3	0.0122	18.3	0.0144	18.3	-0.0018	18.3	0.0011	18.3	0.0017	17.6	0.0256	18.3	0.0000	18.3	0.0000	18.3	-0.0007	124	0.0008
48.8	0.0251	48.8	0.0131	48.8	-0.0091	48.8	0.0041	48.8	0.0011	48.8	0.0293	48.8	-0.0056	61.0	0.0006	61.0	0.0002	362	0.0008
91.6	0.0203	91.6	0.0167	91.6	-0.0160	91.6	0.0020	91.6	0.0034	92.4	0.0244	91.8	-0.0135	125	0.0011	122	-0.0004	610	0.0012
152	0.0239	152	0.0093	152	-0.0164	152	0.0026	153	-0.0017	152	0.0197	152	-0.0291	244	-0.0049	243	-0.0002	914	-0.0014
244	0.0149	243	0.0009	243	-0.0315	244	0.0011	244	0.0008	243	0.0093	244	-0.0463	437	-0.0094	442	-0.0021	1226	-0.0004
439	0.0188	436	-0.0160	437	-0.0555	441	-0.0029	442	-0.0017	437	-0.0022	438	-0.0741	613	-0.0180	612	-0.0004	1476	-0.0040
614	-0.0095	612	-0.0366	609	-0.0688	614	-0.0041	612	-0.0045	612	-0.0199	610	-0.1026	917	-0.0453	922	-0.0030		
923	+0.0050	924	-0.0648	927	-0.1142	924	-0.0083	928	-0.0034	928	-0.0320	923	-0.1501	1223	-0.0710	1231	-0.0051		
1231	-0.0110	1234	-0.0875	1222	-0.1389	1227	-0.0139	1236	-0.0068	1233	-0.0320	1217	-0.1967	1485	-0.1031	1496	-0.0103		
1544	-0.0308	1561	-0.1268	1521	-0.1842	1480	-0.0208	1524	-0.0068	1477	-0.0540	1505	-0.2372						

Table 8. Magneto-Resistance of Specimen No. 5. (13.51%Si).

- 195°		- 95°		11°		107°		200°		- 195°		- 95°		9°		101°		209°	
$R = 0.01587$		$R = 0.03891$		$R = 0.06829$		$R = 0.09526$		$R = 0.21430$		$R = 0.01135$		$R = 0.01932$		$R = 0.03229$		$R = 0.04173$		$R = 0.05288$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
23.7	-0.019	23.7	-0.047	24.4	-0.0518	31.1	-0.0887	31.1	-0.0942	17.8	0.004	17.8	0.003	6.1	0.004	6.7	0.001	6.7	0.0011
53.2	-0.061	53.2	-0.149	48.8	-0.1666	51.2	-0.1840	54.9	-0.2018	47.5	-0.012	47.5	-0.016	18.3	0.016	18.3	0.018	18.3	0.0118
90.2	-0.084	92.6	-0.284	92.2	-0.3423	90.9	-0.3178	90.9	-0.2759	89.7	-0.000	93.8	-0.031	48.8	0.008	48.8	0.007	48.8	0.0011
148	-0.114	156	-0.394	149	-0.4471	152	-0.3882	152	-0.3129	151	-0.000	148	-0.044	94.0	-0.041	92.2	-0.022	94.6	-0.0200
237	-0.132	234	-0.441	243	-0.4865	244	-0.4119	242	-0.3212	242	-0.004	238	-0.055	149	-0.062	152	-0.040	152	-0.0319
425	-0.144	436	-0.457	436	-0.4995	436	-0.4202	436	-0.3360	424	-0.003	427	-0.049	241	-0.065	244	-0.045	243	-0.0342
658	-0.138	662	-0.462	672	-0.5022	671	-0.4231	668	-0.3408	594	-0.004	605	-0.073	435	-0.074	431	-0.046	439	-0.0348
896	-0.149	909	-0.470	912	-0.5160	914	-0.4320	928	-0.3491	903	-0.005	914	-0.065	583	-0.079	622	-0.052	611	-0.0390
1226	-0.167	1220	-0.478	1206	-0.5192	1231	-0.4382	1231	-0.3510	1190	-0.009	1242	-0.072	929	-0.070	924	-0.058	929	-0.0395
1530	-0.164	1519	-0.481	1493	-0.5185	1472	-0.4460	1522	-0.3552	1450	-0.014	1596	-0.080	1235	-0.086	1229	-0.058	1233	-0.0425
														1561	-0.099	1553	-0.065	1541	-0.0496

Table 9. Magneto-Resistance of Specimen No. 6. (14.60%Si).

- 195°		- 95°		11°		107°		200°		299°		402°		511°		578°		590°	
$R = 0.15494$		$R = 0.18612$		$R = 0.21754$		$R = 0.23392$		$R = 0.23723$		$R = 0.06203$		$R = 0.07326$		$R = 0.08437$		$R = 0.09148$		$R = 0.09314$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
18.3	-0.0038	7.3	-0.0076	18.3	-0.0038	18.3	-0.0071	18.3	-0.0052	6.1	0.0000	18.3	0.0057	6.1	0.0011	6.1	0.0021	18.3	0.0010
48.9	-0.1795	18.3	-0.0460	48.8	-0.0299	48.8	-0.0124	48.8	-0.0120	18.3	0.0105	48.8	0.0008	18.3	0.0075	18.3	0.0028	48.8	-0.0030
92.2	-0.2240	48.8	-0.1065	92.1	-0.0413	93.4	-0.0177	92.2	-0.0178	48.8	0.0015	91.6	0.0066	48.8	1.0042	48.8	0.0014	94.6	-0.0068
150	-0.2420	92.1	-0.1253	151	-0.0419	151	-0.0214	149	-0.0261	92.8	-0.0130	152	-0.0128	92.2	0.0044	92.8	0.0003	153	-0.0143
243	-0.2526	151	-0.1324	242	-0.0496	241	-0.0303	241	-0.0391	151	-0.0181	241	-0.0106	150	0.0014	150	-0.0057	244	-0.0239
436	-0.2598	241	-0.1390	438	-0.0561	439	-0.0451	434	-0.0646	244	-0.0196	444	-0.0155	242	-0.0020	243	-0.0082	439	-0.0394
673	-0.2641	434	-0.1437	671	-0.0655	671	-0.0610	671	-0.0913	445	-0.0246	613	-0.0230	438	-0.0071	441	-0.0175	610	-0.0537
915	-0.2748	669	-0.1492	920	-0.0758	919	-0.0790	917	-0.1180	612	-0.0271	917	-0.0239	611	-0.0144	610	-0.0286	928	-0.0766
1229	-0.2820	916	-0.1540	1226	-0.0840	1231	-0.1018	1214	-0.1491	923	-0.0327	1223	-0.0279	889	-0.0211	928	-0.0439	1222	-0.1013
1497	-0.2871	1223	-0.1584	1509	-0.0959	1475	-0.1198	1560	-0.1827	1229	-0.0357	1494	-0.0323	1238	-0.0267	1229	-0.0586	1474	-0.1331
		1505	-0.1721							1516	-0.0442			1575	-0.0344	1536	-0.0786		

570°		588°		607°		599°		610°		632°	
$R = 0.24097$		$R = 0.24427$		$R = 0.24655$		$R = 0.09406$		$R = 0.09502$		$R = 0.09593$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
91.5	-0.0071	90.9	-0.0016	91.5	0.0002	18.3	-0.0023	48.8	0.0009	48.8	0.0000
238	-0.0171	241	-0.0048	241	0.0003	48.8	-0.0095	123	-0.0003	125	0.0009
437	-0.0335	439	-0.0111	434	-0.0002	92.8	-0.0224	244	-0.0015	244	0.0000
670	-0.0575	652	-0.0152	676	-0.0007	152	-0.0342	442	-0.0012	436	0.0016
917	-0.0840	919	-0.0222	917	-0.0022	244	-0.0510	613	-0.0050	612	0.0000
1221	-0.1152	1231	-0.0317	1227	-0.0035	439	-0.0856	926	-0.0113	928	-0.0019
1470	-0.1408	1528	-0.0367	1477	-0.0050	611	-0.1071	1224	-0.0182	1229	-0.0009
						927	-0.1529	1484	-0.0302	1470	-0.0046
						1215	-0.1871				
						1474	-0.2402				

Table 10. Magneto-Resistance of Specimen No. 7. (16.03% Si).

- 195°		- 95°		10°		99°		201°	
$R = 0.05060$		$R = 0.08650$		$R = 0.13180$		$R = 0.16449$		$R = 0.20785$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
17.8	-0.0424	17.8	-0.0638	18.3	-0.0901	18.3	-0.0971	18.3	-0.1008
47.5	-0.1125	47.5	-0.1976	48.8	-0.2560	48.8	-0.2630	48.8	-0.2342
92.1	-0.2029	92.1	-0.3561	92.4	-0.4000	91.6	-0.3560	91.0	-0.2652
148	-0.2478	151	-0.4242	151	-0.4408	152	-0.3860	152	-0.2950
238	-0.2657	237	-0.4407	243	-0.4601	244	-0.4012	241	-0.3021
430	-0.2730	433	-0.4698	443	-0.4728	436	-0.4098	442	-0.3090
661	-0.2768	669	-0.4760	670	-0.4771	674	-0.4125	673	-0.3148
901	-0.2840	915	-0.4801	922	-0.4826	928	-0.4220	927	-0.3180
1236	-0.2878	1227	-0.4878	1232	-0.4918	1235	-0.4280	1231	-0.3265
1527	-0.2927	1516	-0.4920	1557	-0.4978	1576	-0.4332	1565	-0.3328

300°		400°		500°		520°		531°	
$R = 0.25005$		$R = 0.29356$		$R = 0.33841$		$R = 0.34762$		$R = 0.35352$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
18.3	-0.1029	18.3	-0.0831	61	-0.0151	18.3	-0.0091	18.3	-0.0018
48.8	-0.1720	48.8	-0.0993	18.3	-0.0213	48.8	-0.0133	48.8	-0.0086
90.4	-0.1884	93.4	-0.1045	48.8	-0.0265	95.4	-0.0215	92.2	-0.0159
152	-0.1998	152	-0.1138	92.2	-0.0324	149	-0.0275	152	-0.0197
242	-0.2060	243	-0.1140	151	-0.0345	244	-0.0364	244	-0.0318
434	-0.2105	437	-0.1250	246	-0.0411	442	-0.0534	439	-0.0584
670	-0.2158	673	-0.1298	437	-0.0534	673	-0.0730	670	-0.0946
931	-0.2238	922	-0.1377	672	-0.0633	924	-0.0954	927	-0.1277
1231	-0.2310	1231	-0.1448	921	-0.0748	1228	-0.1205	1235	-0.1645
1540	-0.2368	1539	-0.1529	1520	-0.1060	1539	-0.1468	1533	-0.2032

540°		559°		578°	
$R = 0.35591$		$R = 0.36013$		$R = 0.36310$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
48.8	-0.0029	48.8	-0.0020	48.8	-0.0009
146	-0.0055	138	-0.0037	139	-0.0009
244	-0.0086	245	-0.0046	244	-0.0018
442	-0.0172	436	-0.0081	439	-0.0037
671	-0.0288	672	-0.0104	674	-0.0054
928	-0.0446	927	-0.0164	922	-0.0061
1226	-0.0644	1228	-0.0208	1226	-0.0094
1524	-0.0856	1529	-0.0273	1519	-0.0132

Table 11. Magneto-Resistance of Specimen No. 8. (21.7% Si).

- 195°		- 95°		9°		77°		90°	
$R = 0.06062$		$R = 0.11989$		$R = 0.16172$		$R = 0.17768$		$R = 0.17768$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
17.8	-0.005	17.8	-0.0037	6.1	-0.0055	42.7	-0.0059	18.3	-0.0072
47.5	-0.005	47.5	-0.0063	183	-0.0048	97.1	-0.0039	48.8	-0.0288
92.2	-0.003	92.7	-0.0090	366	-0.0125	153	-0.0126	91.5	-0.0633
150	-0.001	153	-0.0063	613	-0.0134	244	-0.0182	149	-0.0933
241	-0.003	236	-0.0090	923	-0.0289	440	-0.0269	244	-0.1582
433	-0.000	427	-0.0148	1246	-0.0294	612	-0.0416	445	-0.2160
611	-0.007	597	-0.0159	1568	-0.0296	928	-0.0582	621	-0.2558
891	-0.000	914	-0.0138			1234	-0.0648	926	-0.3352
1225	-0.016	1225	-0.0266			1522	-0.0793	1231	-0.3940
1534	-0.011	1535	-0.0319			1520	-0.4432	1520	-0.4432

100°		150°		260°		350°		450°	
$R = 0.18394$		$R = 0.20387$		$R = 0.23070$		$R = 0.24663$		$R = 0.26037$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
18.3	-0.001	42.7	-0.0009	42.7	-0.0015	18.3	-0.0004	18.3	-0.0007
48.8	-0.001	92.1	-0.0030	97.0	-0.0003	45.7	-0.0022	48.8	-0.0010
91.5	-0.001	152	-0.0030	152	-0.0002	92.1	-0.0013	92.2	-0.0011
152	-0.0080	244	-0.0047	244	-0.0001	152	-0.0002	152	-0.0016
244	-0.0164	437	-0.0073	435	-0.0050	245	-0.0008	244	-0.0006
433	-0.0371	620	-0.0103	611	-0.0078	441	-0.0027	436	-0.0006
611	-0.0518	934	-0.0152	922	-0.0107	613	-0.0047	613	-0.0031
922	-0.0830	1208	-0.0216	1231	-0.0121	921	-0.0060	927	-0.0060
1232	-0.1126	1513	-0.0268	1495	-0.0147	1226	-0.0074	1231	-0.0066
1532	-0.1466					1543	-0.0091	1564	-0.0091

511°		523°		526°		532°		545°		566°	
$R = 0.26674$		$R = 0.26828$		$R = 0.26897$		$R = 0.26930$		$R = 0.27070$		$R = 0.27210$	
H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$	H	$\frac{\Delta R}{R} \times 100$
40.3	-0.0016	48.8	-0.0008	18.3	-0.0012	48.8	-0.0000	42.1	-0.0002	48.8	-0.0004
87.3	-0.0003	122	-0.0006	48.8	-0.0005	125	-0.0007	93.6	-0.0003	185	-0.0002
152	-0.0014	244	-0.0002	94.6	-0.0012	244	-0.0016	152	-0.0001	244	-0.0001
243	-0.0016	431	-0.0038	152	-0.0005	436	-0.0062	241	-0.0022	438	-0.0003
435	-0.0006	611	-0.0053	245	-0.0008	613	-0.0111	442	-0.0018	613	-0.0003
613	-0.0030	930	-0.0071	443	-0.0054	923	-0.0180	612	-0.0039	928	-0.0022
928	-0.0065	1235	-0.0148	614	-0.0067	1235	-0.0236	928	-0.0045	1235	-0.0010
1221	-0.0079	1555	-0.0177	927	-0.0119	1546	-0.0278	1240	-0.0099	1532	-0.0031
1515	-0.0091			1248	-0.0190			1525	-0.0146		
				1532	-0.0261						

0.66%Siを含む合金の磁氣-抵抗曲線 (Fig. 2) は Fe と大同小異であるが -195° に於ける $\Delta R/R$ は負の値にして

Fig. 1. Magneto-Resistance Curves of Iron.

Fig. 2. Magneto-Resistance Curves of Specimen No. 1. (0.66% Si).

Fig. 3. Magneto-Resistance Curves of Specimen No. 2. (1.66% Si).

磁場の増加と共にその量を増し比較的低い磁場に於て飽和に達する。而してこの負の $\Delta R/R$ を示す温度範囲は合金の Si 含有量が増すに従つて漸次廣くなつて来る (Figs. 3~6),

14.60% 及び 16.03%

Si を含む合金の磁氣-抵抗曲線 (Figs. 7~8) は磁氣變態點附近の温度を除いては全く Fe の場合と異り $\Delta R/R$ は全温度、全磁場に於て凡て負である。その値は磁場の増加と共に初めは急激に次で緩かに減少し、その減少の度は或る磁場に於て遂に一定となる。

21.71% Si を含む合金の磁氣-抵抗曲線 (Fig. 9) は以上の何れの場合とも異なる。この合金は α 固溶體と強磁性化合物 Fe_3Si_2 との 2 相から成り二つの磁氣變態を有する。後者の磁氣變態點は 90° にしてこの温度に於ける $\Delta R/R$ は磁場の増加と共に漸次減少し、その減少量は他の温度の場合に比し非常に大きい。

次に以上の諸曲線から $H =$

1500 oersteds に於ける $\Delta R/R$ を求め、これを温度の函数として書けば Fig. 10 の如くなる。Fe の磁氣-抵抗對温度曲線は從來得られたものと大同小異であつて、 -100° に於て正の極大を有し、 780° に於て負の極小を有する。 -100° に於ける極大は Si の増加と共に漸次高温の方に移動し、且つその値は Si 量と共に漸次減少する。9.43% 以上の Si を含む合金に於ては全温度範囲に亘つて負となり、磁氣變態點附近の負の極小以外に常温以下に於ても負の極小が現はれて居る。而してその極小値は 14.60% 及び 16.03% Si を含む合金に於て特に大である。21.71% Si の曲線に於ては 90° に一つの大きな極小が現はれて居るが、これはこの合金中に含まれてゐる Fe_3Si_2 の磁氣變態點附近に於ける普通の現象である。

Fig. 4. Magneto-Resistance Curves of Specimen No. 3. (5.81% Si).

Fig. 5. Magneto-Resistance Curves of Specimen No. 4. (9.43% Si).

Fig. 6. Magneto-Resistance Curves of Specimen No. 5. (13.51% Si).

更に Fig. 10 に於ける磁氣-抵抗對温度曲線から -195° , 0° , 200° 及び 400° に於ける $\Delta R/R$ の値を求め、これを

Fig. 7. Magneto-Resistance Curves of Specimen No. 6. (14.60%Si).

Fig. 8. Magneto-Resistance Curves of Specimen No. 7. (16.03%Si).

Fig. 9. Magneto-Resistance Curves of Specimen No. 8. (21.71%Si).

Fig. 10. Magneto-Resistance-Temperature Curves of Fe-Si Alloys.

Fig. 11. Magneto-Resistance-Concentration Curves of Fe-Si Alloys.

Si 量に對して畫けば Fig. 11 の如くなる。圖に見る如く、 $\Delta R/R$ は Fe に Si の加はるに従ひ漸次減少し 13.51% 以下の曲線は濃度軸に對して凸形をなして居る。從來著者によつて測定された Ni-Cu 系⁽²⁾、Ni-Co 系⁽³⁾ 及び Fe-Ni 系⁽⁴⁾ 合金等の強磁性固溶體に於ては該曲線は濃度軸に對して凹形をなすのが普通である。又 Fe_3Si (14.31% Si) に相當する濃度に於て $\Delta R/R$ の値が大なる

負の値を示すのはこの附近の濃度に於て現はれる規則格子に歸因するものと思はれる。

次に Fe_3Si に相當する規則格子の生成に於ては未だ精密なる研究がない⁽⁵⁾。唯 1926 年 G. Phregmén が Fe-Si 系合金につき X 線的研究をした際 Fe_3Si に相當する濃度に於て規則格子が現はれるらしいとのみ報告して居るに過ぎない。よつて著者はこれを確める爲に 14.60% Si の試料につき X-線寫眞をとつて見た。その結果 Fig. 12 に示す如く體心立方格子の強い干涉線以外に規則格子の弱い線が明らかに現はれた。即ち Fe_3Si に

相當する濃度に於ては普通の冷却速度に於て規則格子が形成されることが明白になつた譯である⁽⁶⁾。

從來負の磁氣抵抗効果は Heusler 合金⁽⁷⁾ 及び Ni-Mn

(5) B. Stoughton, E. S. Greiner, Metals Handbook, Amer. Soc. Metals, (1936), 281.

(6) 規則格子に關しては當研究所の大澤博士が粉の方法で干涉線をとり詳しく報告される筈である。

(7) 松山, 東北帝大理科報告, 23 (1934), 537.

Fig. 12. X-ray Photograph of 14.60% Si Alloy.
o Line of Superlattice.

合金⁽⁸⁾の或る濃度に於て現はれることが見出されてゐるが、これ等の合金は簡単に固溶體とは考へられない。然し著者は上述の如く Si 含有量の少ない固溶體に於て負の磁氣-抵抗効果の現はれることを見出した。この現象は磁氣的に非常に興味あることである。

IV. 總 括

Fe-Si 系合金につき $-195 \sim 850^\circ$ の温度範圍に於て最高 1600 oersteds の縦磁場に於ける磁氣-抵抗効果を

(8) S. Valentiner, Z. Phys., **47** (1935), 745.

測定して次の結果を得た。

(1) Fe の -100° 附近に現はれる磁氣-抵抗効果 $\Delta R/R$ ($H=1500$ oersteds) の異常性は Si 量の増加と共に高温の方に移動し、且つ $\Delta R/R$ の値は漸次減少する。

(2) 9.43% 以上の Si を含む合金に於ては $\Delta R/R$ は如何なる磁場に於ても亦如何なる温度に於ても負の値となり、且つ常温以下に於て負の極小が現はれる。而してこの極小は 14.60% 及び 16.03% Si を含む合金に於て特に大である。これは多分 Fe_3Si に相當する濃度に於て現はれる規則格子によるものであらう。

(3) 何れの合金に於ても磁氣變態の近くに於いて負の極小が現はれる。

終りに臨み本研究の遂行に當つて終始御懇篤なる御指導を忝うした本多總長及び増本教授兩先生に對して謹んで拜謝する。尙 X-線寫眞を撮つて頂いた西山博士に對し厚く謝意を表する。又この研究の一部は齋藤報恩會の補助によつてなされたものでこゝに同會に對し深謝する。

アルミニウム合金のピンホール除去に就て*

五百旗頭 啓** 石 田 制 一**

Kei Iokibe und Seiiti Isida. Entgasungsverfahren von Aluminiumlegierungen: Bei Schmelzprozess kann die Aluminiumlegierung H_2 , CO_2 , N_2 usw. aufnehmen; dabei geschieht mit der Erstarrung die Dispersion des frei werdenden H_2 in jeden Teil des metalles, die die Entstehung der sogenannten Poren zur Folge hat.

Es gibt manche Untersuchungen über die Flussmittel gegen die Poren und Beisätze. Als Proben standen 13 Arten Verbindungen (PbCl_2 , ZnCl_2 , AlCl_3 , S_2Cl_2 , PCl_5 , CdCl_2 , SbCl_5 , MgCl_2 , NiCl_3 , CrCl_3 , SnCl_2 , I_2 und CaBr_2) zur Verfügung. Sie sind den flüssigen typischen Legierungen, d. i. 6 Arten, Y-legierung, Nr. 12-legierung, Lautal-legierung, L_5 -legierung, Duralumin und Silumin (je 0.5 l, 1.5 u. 2% zn diesen) zugefügt worden, worauf man durch Messungen des spezifisches Gewichtes, Prüfungen mit blossen Auge, mechanische Versuche und mikroskopische Prüfungen uam. zu den Feststellungen der Poren-beseitigungsfähigkeiten dieser Flussmittel und ihrer Einflüsse auf die mechanischen Eigenschaften des Metalles gelangte.

Und danach zeigte sich auch, dass wir die vortrefflichen neuen Arten Flussmittel, die den bekannten gleichkommen, fanden. Wir sind ferner gewiss, dass sie nicht nur den Betrieben leicht zugänglich sind, sondern auch sie so einfaches Verfahren in Anspruch nehmen.

Folgendes sind die Einzelheiten: auf die Y-legierung wirken ZnCl_2 , PCl_5 , CdCl_2 , SbCl_5 in gleichen Masse sehr günstig, wovon besonders SbCl_5 eben, wie TiCl_4 , die Eigenschaft der Kornverfeinerung besitzt und die mechanischen Eigenschaften der Legierung bedeutend verbessert; der Nr. 12-legierung passen PCl_5 und ZnCl_2 ; für die Lautal-legierung sind PCl_5 und CdCl_2 sehr gut; der L_5 -legierung verhelfen NiCl_3 , Duralumin PCl_5 und CdCl_2 am effektivsten, Porengefahr entzugehen; der Silumin hat man schliesslich die angebliche Schwierigkeit annulliert, Poren und Schwindungshohlräume auszulöschen, indem wir in S_2Cl_2 ein ausserordentlich geeignetes Gegenmittel fand.

(Eingegangen am 5, September 1938)

** 海軍技術研究所.

* 本研究は昭和 13 年 4 月 3 日東京に於て開催された日本金屬學會第 3 回講演大會で發表したものである。