

## 규소 단결정 성장과 결정 기술의 경향

李 鍾 和

재료 공학과

### <요 약>

규소 단결정 성장의 기술에 대한 조사를 하였다. 오늘날 상업적으로 가장 많이 이용되고 있는 Czochralski (CZ) 규소 단결정 성장기술과 float zone (FZ) 성장기술을 비교하였다. 규소 단결정 성장기술의 진전을 설명하였고, 단결정 성장의 장래의 예상되는 경향에 대한 설명을 하였다.

## The Growth of Silicon Single Crystals and Trends in Silicon Crystal Technology

Jong Hwa Lee

Dept. of Materials Science and Engineering

### <Abstract>

The techniques of the silicon single-crystal growth are reviewed. A Comparison between float zone (FZ) and Czochralski (CZ) silicon crystal growing techniques in commercial use today is presented. Progress in crystal growing techniques is described. A look into possible future trends in the crystal growing also included.

### I. 서 론

최근 국내의 학계와 산업계에서는 전자공업의 국내 토착화에 심혈을 기울이고 있다.<sup>(1)</sup> 우리나라의 전자공업은 비교적 짧은 기간에 급속히 성장하여 수출의 대종을 이루고 있으나, 제조기술과 원자재의 해외 의존도가 높고, 아직까지 외국의 부품과 원료를 수입하여 조립하는 단계에 있기 때문에 외화가득율이 낮아서 국제 경쟁에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이와 같은 국제 경쟁의 한계성을 극복하기 위해서는 반도체공업의 계열화와 기술의 도약화와 원자재 개발이 시급하다. 이제 3,4차 경제개발 5개년계획으로 구미 전자공업 단지에서와 같은 대단위 전자산업이 육성되어 계열화함에 따라, 또 현

재와 같은 세계 자원경쟁 시대에 원자재 확보를 위해서 다결정 및 단결정 규소생산에 대한 필요성이 강조되고 있다.

4차 경제개발 5개년 계획중에 정부의 장기 전자공업 육성책 보고<sup>(2)</sup>에 의하면 1981년에 27억달러의 전자제품을 생산하여 17억달러의 수출을 목표로하고 있다. 그중 다결정 및 단결정규소 생산목표는 160톤으로 3천만달러의 수출 및 수입 대체 효과를 계획하고 있다. 우리나라가 규소생산에 유리한 길은 국내 규석자원의 채굴 가능 매장량이 약 2억톤으로 추정되고 있으며, 현재 가동중인 황구의 매장량이 1천만톤 이상으로 풍부한 양질의 규석자원을 확보하고 있어,<sup>(3)</sup> 일본과 같이 규석광을 수입하는 국가보다 우위에 있다는 점이다.

1976년 10월 21일자 일간 내외경제에 의하면 전

새 다결정 규소생산량은 1천3백톤으로 미국의 54%인 7백톤, 서독이 26%인 3백5십톤, 일본이 19%인 2백4십톤으로 만약 81년에 우리나라의 다결정 규소생산량이 160톤일 경우 미국의 23%, 일본의 67%, 전세계 생산량의 10% 이상을 차지하는 규모로 될까 생각생산이 전세계의 1%인 것을 비교하면 규소가원의 비중을 높게 차지할 수 있어, 철이나 알루미늄에 규소가원의 대국으로 공지를 가질 수 있다. 또 자원상태의 규석광이 톤당 25~40달러에 수출되고 있으나 금속규소는 톤3백~4천달러, 다결정 규소는 7만5천~십5만달러, 단결정 규소는 36만~60만달러나 되어 규석광이 보물과되어 의외가득유이 상당히 높다.

반도체 제조 공업은 석영(Silica; SiO<sub>2</sub>)을 먼저 탄소 다원화하여 95~98% 순도의 금속규소를 만든다. 이 금속규소는 다결정 생산에 이용되고 나머지는 알루미늄 합금이나 다른 전기제품에 이용된다. 금속규소를 silicon halide나 silicon hydride와 같은 규소 화합물로 만들어 (4) 종류에 의한 방법이나 환원 방법으로 불순물 화합물을 제거하여 규소 화합물의 순도를 높인 후, 수소나 아연으로 환원시켜거나 열분해시켜 고순도다결정 규소를 얻는다. (5)

종류 방법으로 정제하는데 이용하는 규소화합물의 환원에는 400°C에서 SiH<sub>4</sub> (silane)의 열분해 반응, (6) 925~1100°C에서 SiCl<sub>4</sub> (silicon tetrachloride)의 아연 환원 반응 (9) (10) (11)과 SiCl<sub>4</sub>의 수소 환원 반응, (12) (13) (14) SiHCl<sub>3</sub> (trichloro-silane)의 900~1200°C에서 수소 환원 반응, (15) (16) (17) SiI<sub>4</sub> (silicon tetraiodide)의 열분해 반응 (18) (19) (20)과 수소 환원 반응 (21)이 있다. 그 중에서 고순도 규소산업 공정에 가장 많이 이용하는 것은 수율이 가장 높은 SiHCl<sub>3</sub>의 수소 환원 공정이다. (5) 이들 규소화합물을 환원하여 얻은 순도가 6N~9N (N; Nine) % 정도의 규소를 그대로 용융하여 단결정 성장에 이용하거나 더 순도를 높이기 위해 zone refining 방법으로 다시 정제하여 순도를 높일 수 있다. SiHCl<sub>3</sub>의 수소환원으로 얻은 다결정 규소는 Czochralski 방법이나 float zone 방법으로 단결정을 성장시킨다. 이 단결정 규소는 slicing, lapping, polishing, etching 공정을 거쳐 wafer로 만들어지고 ion implantation으로 불순물 확산시켜 원하는 불순물 농도를 조절하여 wafer fabrication를 만든다. (23) (Fig.1 참조)

규소가 정류자의 원료로 사용되기 시작한 것은

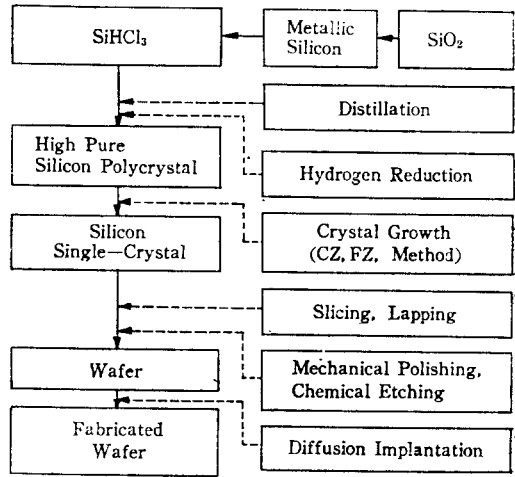


Fig.1. Silicon Process Flow Chart.

1939년부터였다. (22) 1940년에는 미국의 Du Pont의사와 벨지바니아 대학의 Seitz (24)에 의해 99.9% 순도의 규소를 얻는데 성공했다. 1950년에 Teal과 Little (25)이 처음으로 게르마늄의 단결정을 성장시켰다. 이어서 1952년에 Teal과 Buehler (26)가 처음으로 규소 단결정 성장에 성공하였다. 같은 해에 Pfann (27)은 zone refining 법을 제시해서 반도체산업의 발전을 촉진시켰다. 1953년에는 Keck (28) 등에 의해 화학적으로 활성이 큰 규소의 정제수단으로 floating zone 방법이 발표되었다. 그 후 규소 단결정 성장방법은 여러가지로 개량되었으며 1960년에는 기체 상태로부터 성장법인 epitaxial 성장법이 개발되었다. (29)

앞으로도 전자부품 제조에 이용되는 일차 반도체 재료로서 규소의 수요가 예상할 수 있는 장래가 기대된다. (30) 규소는 게르마늄보다 더 큰 energy gap으로 인한 더 높은 작동온도로 게르마늄보다 수요가 훨씬 높다. 또 규소는 이산화규소 (SiO<sub>2</sub>)에 의해 patternable diffusion mask를 제공해 주고, 또 접합층위에 passivation film을 형성할 수 있으며, 양질의 전연체로서의 기능이 있기 때문에 더욱 더 반도체부품 기술에서 공정상의 개선을 꾀할 수 있는 장점이 있다. 또한 규소는 전자공업의 원자재일 뿐 아니라 energy 산업에서 태양 전지의 기본 재료로서 더욱 각광을 받고 있다. 이러한 경향은 규소의 수요에 예측을 할 수 없다.

규소에 관한 연구는 학문적 이론과 그 기술이 특

리 단계로 세부적인 기술에 대한 연구는 구체적으로 간략히 지적되어 있지 않다. 본 연구의 목적은 규소 단결정 제조에 대한 근래의 문헌을 조사하여 이에 관심이 있는 학계나 산업계에 종사하는 분들에게 이해를 돕고서 하는데 있다.

## II. 규소 단결정 성장법

실시 재료로 이용되는 규소는 전각과 정공(hole)의 운동에 의해 적당한 진도성이 있도록 원자가 규칙적으로 배열된 단결정체여야 한다. 결정체 속에 전위(dislocation), vacancy, grain boundary, stacking fault와 같은 결함이 있거나 순도가 낮아 금속 불순물이나 다른 원하지 않는 불순물이 있으면, 그것에서 움직이는 전각과 정공이 재결합하게 되어 minority carrier mobility와 minority carrier lifetime이 감소하거나 carrier 농도 조절이 어렵게 되어 심지어는 높은 부품을 만들 수 없다. 지난 25년 동안 반도체재료의 수요가 급격히 성장함에 따라

단결정 공정기술과 장치에 많은 개선이 진전되었다. 이 수요의 신장은 순도와 결함이 없는 구조에 대한 요구도 계속해서 변해 왔다.<sup>(31)</sup> 결함이 없는 단결정 제조방법에는 열역학적인 관점에서 볼 때 액상으로부터 육성법과 기상으로부터 육성법으로 나누어 생각할 수 있다.<sup>(32)</sup> 액상으로부터 성장법에는 규소산업에서 가장 많이 사용되는 방법으로 두 가지 성장법을 생각할 수 있다. 한가지 방법은 용융한 규소 속에 단결정 규소 seed를 접촉시켜 결정을 성장시키는 Czochralski (CZ) 방법이고 (Fig. 2(a) 참조), 다른 방법에는 r.f. coil에 의한 가열부분(melting zone)이 단결정 seed가 접촉된 다결정 규소봉을 지나가므로 결정을 성장시키는 float zone (FZ) 혹은 pedestal 성장법이다. (Fig. 2(b) 참조) CZ 공정은 오늘날 규소 뿐만 아니라 게르마늄, 금속산화물, III-V족 화합물과 같은 재료의 단결정 성장에도 많이 사용되고 있지만 FZ 공정은 규소단결정 성장에만 사용되고 있다.<sup>(33)</sup>

### I. Czochralski (CZ) 규소 성장법

1952년에 Teal과 Buehler에 의해 처음으로 규소 단결정 성장에 이용된 CZ 방법의 기본 구조는 Fig. 2(a)와 같다. 인상로의 중심부에 위치한 crucible 안에 고순도 다결정 규소를 넣고, 가열할 때 규소가 산화하는 것을 방지하기 위해 아르곤이나 헬륨과 같은 불활성 기체 분위기에서 녹인 후, 용점 1417°C 보다 약간 높은 온도를 유지하면서 원하는 결정 방향(<111>, <100>, <110>)<sup>(31)(33)</sup>의 단결정 seed를 pull rod에 부착시키고 규소용융면에 접촉시켜서 pull rod와 crucible을 서로 반대 방향으로 회전시키면서 적당한 속도로 pull rod를 천천히 끌어올린다. 그러면 단결정 seed 끝에서 seed와 같은 결정방향으로 용융규소가 응고하여 단결정이 성장된다. 규소 용융액이 대부분 결정되고 나면 furnace power를 끄고 성장한 단결정을 끄집어 낸 후 다시 다결정 규소를 장입하여 다음 공정을 계속한다.

원하는 직경의 단결정을 얻기 위해 pull rod의 회전속도, crucible의 회전속도<sup>(34)</sup> pull rod의 상승속도(혹은 crucible의 상승속도)<sup>(35)</sup>, 용융면의 온도 등의 공정변수가 적당히 조절되어야 한다.<sup>(36)</sup> 실제 공정에선 computer로 제어되는 자동 직경 조절기(ADC; automatic diameter controller)를 사용하

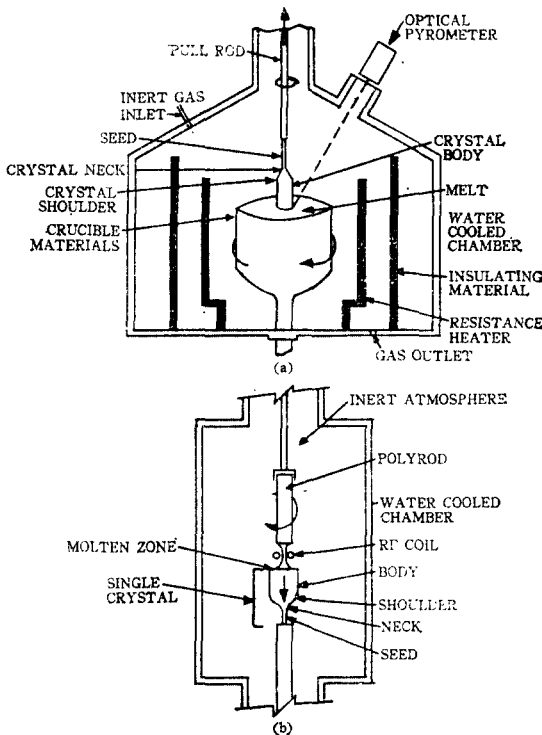


Fig. 2. Typical (a) CZ and (b) FZ Furnace Configurations. (after J. Lenzig)<sup>(31)</sup>

여 직경이  $\pm 0.5\text{mm}$  내외의 오차로 모든 공정변수가 조절되어진다. 이 ADC는 1967년에 보고되었으나, (37) 1971년에 상업적으로 실용화되었다. ADC를 이용하므로 미숙련 운전원이 여러 대의 furnace를 동시에 조작할 수 있어 노동력의 절약 뿐 아니라, 내용량 crucible의 사용이 가능해졌고, 규소 단결정의 수율이 향상됐고, 전위가 없는 결정 성장이 가능해졌다. (38)

pull rod 상승속도를 처음에는 빠른 속도( $>200\text{mm/hr}$ )로 목(neck) 부분을 성장시키고 그 다음에는 전력을 조금 감소시키고 pull rod 상승속도를 줄여 원하는 직경이 되도록 어깨(shoulder) 부분을 성장시키기 시작한다. 그 다음 공정은 용융면에 접한 결정의 요철을 관찰하는 적외선 탐지기를 이용해서 자동적으로 직경이 조절된다.

50년대와 60년대의 r-f(고주파) 유도로 대신에 70년대초부터 대부분의 CZ 공정은 저항 가열방식을 채택하고 있다. (33) 이러한 변화는 저항 가열방식이 공정이 더 간단하고 전원 공급장치가 더 저렴한 편 아니라, 전력손실이 적어 더 효율적이고 제어계통이 간단하고 더 큰 용량의 규소를 녹일 수 있기 때문에 또한 덜 비싼 quartz glass의 사용이 가능하기 때문이다.

가열되는 crucible의 대표적인 크기는 지난 10년 동안의  $125\text{mm} \times 125\text{mm}$ 에서  $262\text{mm} \times 225\text{mm}$ 로 커졌고, 최근엔  $300\text{mm} \times 200\text{mm}$ 를 사용하여  $20 \sim 25\text{kg}$ 의  $100 \sim 150\text{mm}$  직경의 단결정을 생산하고 있다. (31) 오늘날에 와서는 단결정의 직경이 증가함에 따라 pulling 속도가  $50\text{mm}$  직경에 대한  $125 \sim 150\text{mm/hr}$ 에서  $75\text{mm}$  직경에 대한  $87 \sim 125\text{mm/hr}$ 로 떨어지고 있다. (31) 대량적인 규소공정에서는 chamber나 pull rod에 붙은 일산화 규소(SiO) 분말이 용탕에 떨어져 부풀음이 생기므로 응고면에 다결정의 핵생성의 원인이 된다. 이를 방지하기 위하여 pull rod seal 쪽으로 기체를 빼기시키는 송풍장치와 chamber 위에 수냉장치를 하여 값 비싼 설제변성을 하게 되었다. (31) 이 SiO의 피해를 줄이기 위한 다른 방법으로는  $700\text{mmHg} \sim 1 \times 10^{-4}\text{mmHg}$ 로 압력을 줄여서 저압 상태의 공정이 시도되고 있다. (36) 이렇게 아르곤이나 헬륨과 같은 고가인 purge gas의 분압을 줄이면, 축방향의 저항변화를 감소시킬 수 있고 불활성 기체 사용량이 2~3배 감소되므로 더 저렴한 공정이 된다.

개선된 가열 장치와 자동 제어계통의 이용으로 전

위가 없는 결정을 shoulder에서 바로 원하는 직경으로 성장시킬 수 있고, 잔류 용탕량을 3% 이하까지 줄일 수 있게 되었다. 또 내용량인 crucible의 사용으로 한번에 원료주입량이 3~12배로 증가되었고, 큰 덩어리의 다결정 규소의 사용에도 불구하고 원료  $1\text{kg}$ 당 녹이는데 필요한 소요시간이 감소되고 있어 공정단가를 감소시킬 수 있게 되었다.

CZ 공정의 단결정 규소의 저항 범위는  $0.01\text{ohm-cm}$ 에서  $50\text{ohm-cm}$  정도이다. quartz crucible이 용탕속에  $\text{SiO}_2$ 를 녹여 보내므로 단결정속에 혼입되어 활동성이 강한 산소에 의해  $5\text{ohm-cm}$  이상인 결정의 저항 변화는 상당한 폭이 있으므로  $600^\circ\text{C}$  이상에서 normalizing 열처리하여 단일화시켜야 한다. (31) quartz에 의한  $\text{O}_2$ 의 혼입과 graphite로부터 CO와  $\text{CO}_2$  증기와 또 원료 다결정 규소에 포함되어 있는 금속 불순물들은 결정 규소속에서 "swirl"이라 불리는 구조적 결함의 원인이 된다. (40) 이런 결함의 생성 기구는 아직 완전히 이해되지 않고 있으며 반도체산업에서 재료의 품질평가와 공정 개선에 많은 노력으로 이 문제에 대한 해결을 구하고 있다. swirl의 발생원인은 구조의 결함에 불순물과 vacancy가 축적하는 것과 어떤 관계가 있는가? (41)

오늘날 CZ 공정이 넓게 이용되고 있는 이유는 다음과 같다. (33)

1. 직경이 4인치이상인 큰 결정의 성장이 용이하다.
2. 다결정 규소 가루와 큰 덩어리를 사용할 수 있고 잘라 낸 단결정의 양쪽 끝 부분을 다시 사근할 수 있어 다른 공정보다 더 경제적이다.
3. 전위가 없는 결정 성장에 요구되는 고세와 고체면의 이상적인 면인 바깥  $3 \sim 5\text{mm}$  정도는 평면이고 내부면은 오목한 omega( $\Omega$ ) 모양의 경계면을 유지하도록 공정변수들을 제어할 수 있어, 전위가 없는 결정을 얻을 수 있다.
4. 휘발성이 강한 불순물을 doping 한 결성을 성장시킬 수 있다.

CZ 공정은 위와 같은 장점으로 원료의 수율이 높아 저렴하고 전위가 없는 결정 성장공정이지만, quartz crucible과 graphite 값이 매년 10% 이상이나 앙등하고 공정상 탄소, 산소, 알루미늄, 질과 같은 불순물의 오염의 방지가 힘들어, 고순도 결정 성장이 가능한 FZ 공정이 반도체 산업에서 증가 추세에 있다. 특히 고전류 전압 부품용이나 고순도 N

형(20ohm-cm 이상)에서는 FZ 공정의 결정이 많이 이용되고 있다.

**2. Float Zone (FZ) 규소 성장법**

규소산업에서 FZ성장법의 이용이 CZ성장법의 이용과 거의 같은 속도로 지난 수년간 증가해 왔다.<sup>(31)</sup> 최근엔 FZ성장법으로 75mm 직경의 결정을 성장시켜 상업적인 판매를 하므로, 이 FZ성장법이 고순도 단결정에서 CZ 성장법과 대적하게 되었다. FZ 결정 성장법은 crucible과 graphite heater를 사용하지 않으므로 산소, 탄소, 알루미늄, 철과 같은 불순물의 오염을 훨씬 낮출 수 있어 고순도 단결정의 생산은 CZ공정보다 용이하다.

FZ 결정 성장법에서는 원료 다결정 규소가 균일한 지름의 봉 모양이어야 하고 이 규소봉이 노속에 수직으로 장치된다. FZ 성장법의 가열장치는 고주파(r-f; 1~4 MHz)유도로이며 폭이 좁은 r-f coil을 이용하여 용융대(melting zone)을 만든다. 고전적 FZ법은 결정 seed가 r-f coil 아래에 위치하고 다결정 규소봉이 r-f coil 위에 위치했는데 개량된 FZ공정인 pedestal 성장법은 결정 seed가 다결정 규소봉위에 위치해 있다.

FZ 성장법에서 doping 방법은 불순물 dopant를 rod에 부착시키거나, phosphine (PH<sub>3</sub>), arsine (AsH<sub>3</sub>), diborane(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)과 같은 기체상태로 herium이나 argon과 같은 purge gas와 함께 노속으로 주입시킨다.

전위와 swirl이 없도록 하는 결정 성장에서의 성장속도는 150~250mm/hr 정도이고 rod 회전속도는 5~10rpm 정도이다. 한때는 FZ 방법으로 38mm 이상의 직경인 규소 단결정성장은 불가능한 것으로 여겨졌지만, 공정기술의 발달로 r-f coil을 용융면에 가까이 장치하여 용융면을 작게 하므로 이 불가능은 극복되어졌다.

FZ 성장법의 단점은 용융액이 흘러내리지 않게

하는 표면 장력에 의한 응력때문에 응고면이 복잡하여 전위가 없는 결정성장은 대단히 어렵다. 또 다른 단점은 주입하는 다결정 규소가 더 값비싼 작은 직경의 봉모양이어야 하므로 큰 직경의 규소 단결정 성장이 어렵고 crucible을 사용할 때의 단결정 조각이나 다결정규소 가루가 재생에 이용 가능한 CZ성장법보다 더 값비싼 공정이 된다. FZ 공정의 용융부분이 흘러내려 응고하는 경향이 있으므로 computer로 제어하는 공정제어 장치는 적당한 melting zone 길이와 pulling 속도를 알맞게 조절할 수 있는 신뢰도가 높은 것이어야 한다.

오늘날 FZ 성장법의 장치는 정지된 r-f coil에 pull rod가 움직이게 하는 방법과 pull rod는 고정되고 r-f coil이 가동하는 두 가지 방법이 있다.<sup>(31)</sup> FZ로 결정 성장한 규소 wafer가 75mm인 직경이 생산되고, 또 고출력 thyristor, rectifier, MOS, power transistor와 같은 소자나 chip 크기가 크고 구조가 복잡한 부품들의 제조에는 비균일성이고 불순물의 농도가 높은 CZ 결정규소보다 더 높은 순도와 균일성이 가능한 FZ 결정 규소가 더 많이 이용되고 있다.<sup>(42)</sup> FZ성장 단결정 규소는 0.5~1,000 ohm-cm 정도의 저항을 얻을 수 있고, 산소농도도 5×10<sup>-6</sup>m<sup>-3</sup> 이하로 낮출 수 있다.

**Ⅲ. 장래의 경향**

오늘날 규소 반도체 산업의 관심의 대상은 보다 순도가 높고, dislocaton이나 grain boundary, swirl, vacancy 등의 결함이 전혀 없는 완전한 단결정 규소의 성장과 결정의 직경이 크고 저항이 안정 방향으로 균일한 결정을 얻는데 있다.<sup>(43)</sup> 1975년의 가장 큰 wafer의 직경은 100mm이며 dislocation density는 500cm<sup>-2</sup> 이하였다. 그리고 결정의 무게는 약 12kg이었다.<sup>(44)</sup> (table 1. 참조)

**Table 1. Typical Silicon Specifications.**(after R. B Herring)<sup>(44)</sup>

Specification	1960	1965	1970	1975
Wafer Diameter (mm)	12—25	25—50	50—75	75—100
Thickness (mm)	0.1—0.2	0.25	0.4	0.4—0.6
Resistivity Radial Gradient	30%	20%	15%	12~15%
Dislocation Density (cm <sup>-2</sup> )	50,000	10,000	1,000	<500
Crystal Weight	200gm	1 kgm	4 kgm	≥12kgm

단기동향으로 볼 것 같으면 현존하는 부품기술의 발전적 경향이 계속될 것이고, 규소 단결정의 직경이 증가함에 따라 반경 방향의 저항 변화의 증가를 초래하게 되므로 더욱 고순도 결정규소가 요구된다. 또 저전압 고전류 power device (<750V) 제조에는 CVD (chemical vapor deposition) 기술의 이용이 증가하게 되고, (45) 이보다 더 높은 고전압 부품에서는 더 높은 순도와 균일성이 요구되어 FZ 직경 규소의 수요가 증가하게 된다.

지금 몇 해 동안의 문헌을 살펴보면 비균일성의 근원과 결함의 이해와 조성이 문제가 되어, precipitate, microimpurity, vacancy의 생성과 거동을 밝히려는 노력이 행해지고 있다. 또한 swirl과 같은 현상은 비균일성이 중요시되고 있다. 제품의 품질을 개선하기 위해 규소 wafer의 질을 향상시키게 되자 노력으로 결정의 결함에 대한 연구가 앞으로 활발해질 것이다. 원료 공급자는 단결정 성장층이 균일으로 이 결함을 제거할 수 있을까, 또 소자 제조하는 이들 원료층의 결함을 어떻게 대처하고 이송할 것인가에 대해 관심이 있다. Tasch와 그의 동료 (46)에 의한 논문에서 이들 결함들이 MOS에 아주 새로운 결과를 초래한다고 보고했다. 이들 결함과 결함들은 minority carrier lifetime을 단축시킨다.

전과 같이 급속히 변화하고 성장하기 때문에 또 새로운 소자를 가지고 새로운 시장 분야를 개척 할 무렵은 큰 필요가 있기 때문에 현재와 같은 부품들은 충분치 않고, 장기적으로 더 새로운 기술과 공정이 부품으로 새로운 시장의 개척이 대처해야 한다. 관수용과 우주항공용에 이용되는 소자는 밀집도에 대한 내구성이 요구되기 때문에 접합 분리 (junction isolation) 구조가 유전 분리 구조로 바뀌어 개선될 것이다. (42) 개선된 유전 분리 구조로 윈도우 기술은 규소 반도체공정에서 결정학적 방향의 방향과 같이 방향에 의존되는 etchant (47)에 대한 문제이다. 또 현재 1000개/cm<sup>2</sup> 정도인 device packing density가 더 증가하기 위해서는 유전 분리 구조의 발달해야 될 것이다.

원료 공급자는 <111>, <100> 방향의 결정 성장 한 다이나 <110> 방향 성장에 대한 요구를 받게 될 것이다. (48) slice면은 (113), (115), (221), (331) 등으로 각르는 필요성이 증대된다. (49)

장기적인 경향을 보면 단결정 규소도 가격이 떨어지는 추세보다 더 빠른 속도로 부를 판매했다

떨어지고 있다. (42) 그러므로 부품 제조자는 채산을 맞추기 위해서 부품공정의 수율을 개선해야 하고 더 적은 단결정 규소로 같은 기능을 할수 있는 소형화된 부품을 개발해야 한다. 부품이 소형화되고 chip의 구조밀도가 증가함에 따라 지금까지의 단결정 규소의 순도보다 더 높은 순도와 균일성이 요구되고, 부품의 LSI화가 급격히 요구되어 앞으로는 TV의 전 회로가 한 개의 chip으로 가능하게 될 것이다.

단결정 성장은 현재까지 알려진 문헌에서 다음과 같은 경향이 예상된다.

1. CZ 성장법이 계속 인기를 유지하고 crucible의 크기는 10인치 직경까지 증대할 것이다.
2. 단결정 규소의 직경은 4~5인치로 증대하고 그 무게도 20~25 kg 까지 증가할 것이다.
3. ADC와 같은 computer로 제어되는 조절장치로 완전 자동화함에 따라 결함이 없는 단결정의 성장이 가능할 것이다.
4. FZ 성장도 power device에서와 같이 고순도 규소의 요구가 증대됨에 따라 그 이용이 활발히 될 것이다.

## V. 결 론

4차 경제개발 5개년 계획으로 전자산업의 계열화에 의해 노동집약적이던 조립단계인 반도체 산업이 기술집약적인 산업으로 도약하려 하고 있다. 풍부한 유석광을 보유하고 있는 우리나라는 단결정 및 단결정 규소산업을 발전시켜 세계적인 규소 자원국으로 공지를 가져야 할 때이다.

오늘날 두 가지 기본되는 결정 성장 공정 (FZ, CZ)에 의해 규소단결정이 성장되어지고 있다. CZ 공정은 경제학적인 이유로 현재 가장 많이 이용되어지고 있고 앞으로도 그 이용이 계속 증대될 것이다. CZ 결정·성장공정이 60년대 후반까지의 고주파 유도 가열 방식에서 70년대 초에 저항 가열 방식으로 바뀌므로 앞으로는 더 큰 직경(4~5인치)의 단결정이 성장될 것이다.

현재까지 CZ 규소단결정 성장에서 세 가지 중요한 발전은 지난 5년동안에 전위가 없는 단결정 성장공정의 개발과 자동 직경 조절기(ADC)의 개발이 용과 또 장입량의 대량화가 가능한 대용량 crucible의 설계를 들 수 있다.

FZ 공정은 조금 고가인 공정이지만 고순도 결정

을 얻을 수 있어 power device와 같은 부품에서는 FZ 성장 결정인 고저항 규소의 수요가 증대하고 있어 앞으로는 FZ 공정의 이용이 증대하리라 생각된다.

전자부품의 소형화와 chip의 구조밀도(device packing density)가 증가하고 LSI (large scale integrated circuit) 화함에 따라 순도가 아주 높고 균일한 성질의 완전한 규소 단결정이 요구되고 있다. 또 규소 단결정의 직경은 증가하고 있다.

### 참 고 문 헌

1. 주용길, KAIS, private communication.
2. 한국무역협회, "일간무역통신", 7971호, 제 3권 (1975, 10, 31)
3. 박병철, 이광우, "자원조사연구보고(규석권)", 국립광업연구소 (1970)
4. 이일철, "The Preparation of Trichlorosilane from the Cupric Chloride-catalyzed Reaction of Silicon and Hydrogen Chloride", KAIS, MS Thesis (1976)
5. 이종화, "The Preparation of High-Purity Silicon by Hydrogen Reduction of Trichlorosilane", KAIS, MS Thesis (1976)
6. H. F. Sterling, et al, "Methods of Producing Silicon of High Purity", U.S. Pat., 2993762 (1961)
7. Charles H. Lewis, et al. "Preparation of High Purity Silicon from Silane, J. Electrochem. Soc., Vol. 108, 1114 (1961)
8. D. Richman, R. H. Arlett. "Low Temperature Epitaxial Growth of Single Crystalline Silicon from Silane", J. Electrochem. Soc., Vol. 116, 872 (1969)
9. M. Malcolm, et al, "Improvement in the Manufacture of Pure Silicon", London Pat. 833621 (1960)
10. I. J. Krczma, et al, "Production of Elemental Silicon", U.S. Pat. 2883269 (1959)
11. A. Matsumoto, "4염화규소의 아연관원에 대한 반응과정 및 반응속도", 일본공업화학잡지, Vol. 69, 1095 (1966)
12. L. Bertrand, et al, "Silicon Production", U.S. Pat. 3012862 (1961)
13. H. C. Theuerer, "Purification of Silicon Tetra-chloride by Adsorption Techniques", J. Electrochem. Soc., Vol. 103, 649 (1961)
14. K. J. Miller, et al. "Epitaxial Silicon Thin Films", J. Electrochem. Soc., Vol. 109, 643 (1962)
15. W. R. Runyan, "Silicon Semiconductor Technology," (Texas Instruments Electronic Series) McGraw-Hill Book Co., N. Y., p. 5 (1965)
16. G. Pauls, "Process for Manufacturing Dense, Extra Pure Silicon", U.S. Pat. 2943918 (1960)
17. Westing House Electric Corp. Ltd., London Pat., 875622 "Improvement in or Relating to the Production of Pure Silicon". (1961)
18. G. H. Moates, et al, "Apparatus for Continuous Preparation of Ultra Pure Silicon", U.S. Pat. 3006737 (1961)
19. F. B. Litton, et al, "High Purity Silicon", J. Electrochem. Soc., Vol. 101, 237 (1954)
20. L. V. McCarty, "Electrical Properties of High Purity Silicon Made from Silicon Tetraiodide", J. Electrochem. Soc., Vol. 106, 1036 (1959)
21. G. Szekely, "Preparation of Pure Silicon by the Hydrogen Reduction of Silicon Tetraiodide", J. Electrochem. Soc., Vol. 104, 663 (1957)
22. G. C. Sowthworth and A. P. King, Proc. IRE, 27, 95 (1939)
23. R. F. Kane, G. B. Larabee, "Characterization of Semiconductor Materials", McGraw-Hill Book Co. (1970)
24. F. Seitz, Univ. Penn. NDRC 14-112 (1942)
25. G. K. Teal, J. P. Little, "Growth of Germanium Single Crystals", Phys. Rev. 73, 647 (1950)
26. G. K. Tead, E. Buehler, "Growth of Silicon Single Crystals and of Single Crystal Silicon p-n Junctions", Phys. Rev. 87, 190(A) (1950)
27. W. G. Pfann, Trans. AIME, 194, 747 (1952)
28. P. H. Keck and M. J. E. Golay, Phys. Rev. 89, 1297 (1953)

29. Metallurgical Society Conferences, Vol. 15. "Metallurgy of Semiconductor Materials", 27 (1961)
30. W.J. Beyen and O.B.Cecil, "Silicon Material Requirements for Future Electronic Device Technology", Second International Symposium on Silicon Materials Science and Technology, Electrochem. Soc., May (1973)
31. J. Lenzing, "Survey of Semiconductor Crystal Growing Process and Equipment", Solid State Tech., 2, 34 (1975. 2)
32. 조대영 "II-V족 화합물의 결정 육성법", 울산공과대학 논문집, 제2권, 제1호, 63 (1971)
33. R.E. Lorenzini, et al, "An Overview of Silicon Crystal-Growing Processes, Solid State Tech., 2, 33 (1974. 2)
34. P. Capper and D. Elwell, "Crucible Rotation and Crystal Growth in the Czochralski Geometry", J. Crystal Growth, 30, 352 (1975)
35. T.G. Digges, Jr., "A Solution for Melt-Level Control When Growing Czochralski Silicon Crystals in Hemispherical Quartz Crucibles". Solid State Tech., 2, 44 (1975)
36. J. R. Carruthers, K. Nassau, "Nonmixing Cells due to Crucible Rotation during Czochralski Growth", J. Appl. Phys., Vol. 39, 11, 5205 (1965. 10)
37. E.J. Pazner, et al, Solid State Tech. 10, 25 (1967)
38. A.J. Valentino, et al, "Diameter Control of Czochralski Growth Crystals", J. Crystal Growth, 26, 1 (1974)
39. C. P. Chartier, C.B. Sibley, "Czochralski Silicon Crystal Growth at Reduced Pressures", Solid State Tech., 2, 31 (1975. 2)
40. A.J.R. de Knock, et al, "Microdefects in Swirl Free Silicon Crystals", Second International Symposium on Silicon Materials Science and Technology, Electrochem. Soc. May (1973)
41. J. Matsui and T. Kawamura, "Dislocation Generation along Swirls in Dislocation free Silicon Crystals", *ibid.*
42. J. Barrett, R. H. Heil, Jr., "Trends in Crystal Growing", Solid State Tech., 2, 37 (1974)
43. 조권국, "Growth of Silicon Single Crystal by Czochralski Method", KAIS, MS, Thesis (1977)
44. R.B. Herring, "Silicon Wafer Technology-State of the Art 1976", Solid State Tech. 19, No5, 37 (1976)
45. J. Bloem, "Trends in Chemical Vapor Deposition", Second International Symposium on Silicon Materials Science and Technology, Electrochem. Soc., May (1973)
46. A.F. Tasch, et al, "Plastic Deformation and MOS Integrated Circuit Performance, *ibid.*
47. H. A. Waggener, "Anisotropic Etching for Forming Isolation Slots", Electronics, 40, 274 (1967. 11)