

HCl분위기에서 증기열처리된 BPSG 막의 평탄화효과에 관한 연구

김 동 현

삼성반도체통신 연구소

(1986년 3월 16일 접수)

Planarization Effect of Steam Densified BPSG Film in HCl Atmosphere

Dong-Hyun Kim

Samsung Semi-Conductor R&D Center

(Received March 16, 1986)

ABSTRACT

Phosphosilicate glass (PSG) films have been used as fusible deposited dielectrics in silicon gate MOS integrated circuits. But in this experiment BPSG (borophosphosilicate glass) will be optimized for more efficient utilization of the reactants.

The BPSG films were deposited on silicon wafers by the oxidation of the hydrides at 430°C in conventional atmospheric-pressure chemical-vapor-deposition (CVD) systems. Physical and chemical properties of CVD BPSG films have been characterized, both for as-deposited and for fused films. The relationship between deposited BPSG film composition and infra-red absorption, solution etch rate, and fusion temperature is discussed, and examples of BPSG compositions that can be fused at 900 ~ 950°C and 800 ~ 850°C are given.

In addition to having lower fusion temperature than PSG films, BPSG films have lower as-deposited intrinsic tensile stress and low aqueous chemical etch rate, they have been considered for applications where these characteristics are advantageous.

I. 서 론

Device의 집적도를 높이기 위해 각각의 Device치수를 축소시켜가면 chip위에 각 소자들을 연결하는 metal-line이 사용되어야 하며 배선영역에서 전면적의 상당한 부분을 차지하게 된다. 그러나 metal-line의 면적을 축소시키면 전류용량과 배선저항에 심각한 문제가 생기게 되어 다층화기술¹⁾이 필요하게 된다. 다층화기술의 단점은 1) Lithography공정의 복잡화 2) 표면의 요철이 심해지는 것 3) 표면에서의 배선의 leak와 short 등의 발생이다.

Device의 수율 및 신뢰성상 문제가 되는 것은 표면부의 요철부위에서의 metal-line의 단선이다. 이러한 단차를 제거하고 언제나 평탄한 면에서 metal-line형성과 etching이 이루어질수 있다면 이상적이라 생각되어 steam densified BPSG공정을 도입하였다.

Phosphosilicate glass (PSG)^{2,3)}는 device의 다층구조에서 oxide와 polycrystalline silicon에 의한 device표면단차위에 적당한 평탄화를 얻기위해 비교적 높은 온도(950 ~ 1,000°C)에서의 densification이 요구된다. 그러나 steam densified BPSG막은 저온에서 평탄화를 얻을 수 있고 적당히 평탄화가 이루어진 구조는 연속

적으로 그 위에 형성되는 metal - line 의 막두께의유지와 metal continuity, yield 향상에 필수적인 것이다.⁴⁻⁷⁾

II. 실험방법

II-1. 시편제조

시편제조는 Fig. 1 에 표시된 제작순서에 따라 행하였다. 제작의 출발원료로서는 15 ~ 35 Ω/inch² 저항값을 갖고있는 직경 5 inch wafer 를 사용하였다.

Gate oxidation 을 하기전에 110 ± 5 °C (NH₄)₂S₂O₈ 용액에서 80 초이상 황산 boil cleaning 을 실시한다. etching 시 기판의 보호를 위해 Gate oxidation 을 THERMCO 社의 quartz tube 를 사용하여 950 °C 에서 dry O₂ + HCl 분위기로 하여 한다. 다시 황산 boil cleaning 을 한 후 poly-Si deposition 을 SHIPLEY 社 low pressure chemical vapor deposition 장치를 사용하여 620 °C 0.34 torr 에서 막형성하며 사용 gas 는 N₂ base 5% SiH₄ gas 였다. 황산 cleaning 을 한 후 SHIPLEY 社 PR (photo resist) 로 5,000 rpm 에서 약 11,000 Å 의 두께가 되도록 coating 하였다. coating 후 NIKON 社 축소투영노광기를 사용하여 align 후 현상전처리 를 실시한다. 현상전처리가 끝나면 bake 를 한 후 SHIPLEY 社 developing etchant 에서 3 분 20 초 동안

현상하고 PR edge 에 남은 현상용액을 중화시켜 없애기 위해서 1% HF 용액에서 130 °C 10 분동안 중화처리한 후 rebake 한다. 그 후 poly-Si etching 을 AMT 社의 dry etcher 로 two step anisotropic 30% over etching 을 하며 사용 gas 는 HCl, BCl₃, Cl₂ 이다. etching 이 끝나면 strip 전처리를 거쳐 황산 strip 으로 photo resist 를 벗겨낸다.

II-2. 시험방법

위의 방법으로 제작한 시편에 Fig. 2 에 표시된 AM-AYA 社 삼압 CVD 장치를 이용하여 400 °C 에서 BPSG 막의 조성을 변화시켜 3 가지 type 로 분류하였다. 자세한 분류내용은 Table. 1 에 표시하였다. BPSG 막은 poly-Si 과 metal 사이의 층간 절연막으로 사용하였으며 P 농도를 조절하므로써 Na ion gettering 효과와 step coverage 의 향상효과를 얻을 수 있었다. BPSG film 을 형성한 후 LEITZ 社의 film thickness checker 와 NANNOSPEC 社 film thickness checker 를 사용하여 막두께의 균일성을 측정하고 DIGILAB 社의 FT-IR 과 KEVEX 社의 X-ray 형광분석기를 이용하여 P 및 B 의 원소분석을 실시하였다. 그 후 Fig. 3 에 표시된 THERMCO 社 quartz tube 로 각종 densification time, densification temp., densification atmosphere 로 분류하여 test wafer 를 제작했으며 이에대한 조건은 Table. 2 에 표시하였다. densification 이 끝난 시편을 HITACHI 社 S 570 scanning electron micrograph 로 5,000 배의 배율에서 평탄화 분석을 하였다.

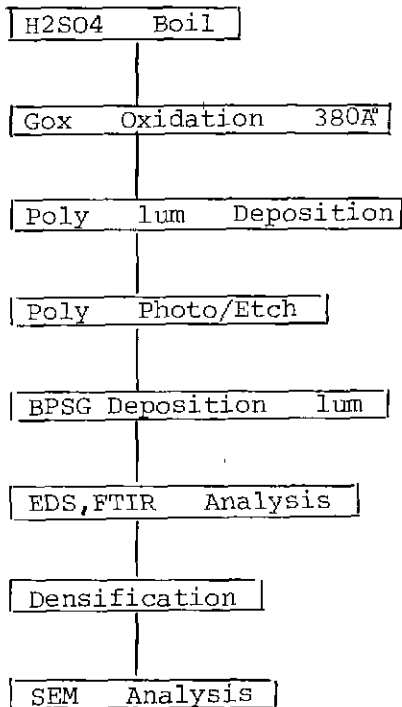


Fig. 1. BPSG sample wafer flow sequence.

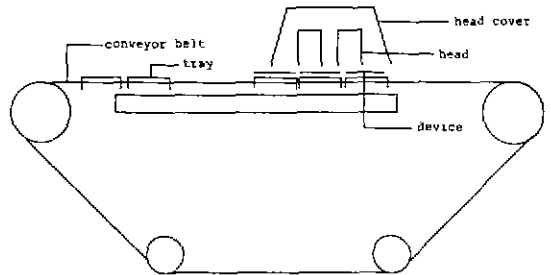


Fig. 2. Schematic diagram of AP-CVD reactor.

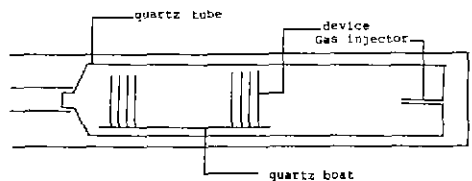


Fig. 3. Schematic diagram of quartz tube for BPSG film densification.

Table 1. Typical BPSG Film Properties of Sample Deposited at 400°C with Different P,B Concentration.

Item	BPSG type		
	Type A	Type B	Type C
Deposition temperature(°C)	400	400	400
O ₂ /Hydride ratio	23 : 1	23 : 1	23 : 1
P wt %	2.7	2.3	4.3
B wt %	5.2	6.1	4.6
Deposition rate (Å ^o)	2360	3831	2353
7 : 1 BOE etch rate (Å ^o)	1053	1753	1184
In wafer uniformity (%)	13.1	12.3	7.4
Between wafer uniformity (%)	8.5	12.9	9.2
Between lot uniformity (%)	6.5	15.5	9.2

* BOE (HF : H₂O의 혼합비율이 1 : 7인 ETCHANT)

III. 실험결과 및 고찰

III-1. BPSG 막 형성

본 공정을 사용하지 되면 동종핵 생성의 억제와 이종 CVD 반응의 향상에 기인하여 막 형성속도의 증가와 particle 생성의 감소를 가져오며 많은 반응물이 matrix를 형성하게 된다.⁹⁾ 또한 BPSG 막은 종래의 막에 비하여 내부응력이 작으므로 두꺼운 막을 형성시켜도 crack

이나 void 등의 defect 형성이 억제되고 그로 인한 수율 향상효과를 얻을 수 있다.⁹⁾ Fig. 4에서 볼 수 있듯이 BPSG 막의 deposition rate는 O₂/hydride ratio 증가에 따라 linear 하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 O₂/hydride ratio는 23 : 1의 비율로 혼합하여 파악시킨 것이 제일 균일한 막을 얻을 수 있었다. deposition rate는 PH₃의 농도가 증가할수록 증가하며 그와는 반대로 B₂H₆의 농도가 증가할수록 B₂H₆의 oxidation inhibitory effect에 의해 막 형성은 감소하게 되나 막의 내습성은 좋아지게 된다.¹⁰⁾ 7 : 1 B · O · E (Buffered Oxide Etchant)에서의 etching rate도 막 증에 O₂의 함유량이 증가할수록 etching rate도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 P 및 B의 농도변화에 따른 BPSG 막의 7 : 1 B · O · E에서의 etching rate를 Fig. 5에 표시하였다. boron의 wt%가 증가할수록 etching rate는 감소하며 그와는 반대로 phosphorus의 wt%가 증가할수록 etching rate는 증가하였다.¹¹⁾

III-2. Densification 및 electrical test

HCl 분위기 steam densified BPSG 공정에서는 석영관의 온도를 850°C ~ 950°C로 조절할 경우 boron 농도의 감소가 상층부에서 일어날 것으로 예측되나 SEM으로 관찰한 결과 막성과 step-coverage에는 영향이 없었다. 이에 대한 SEM 사진을 Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 자세히 나타냈다. 이와같은 Boron 감소현상은 den-

Table 2. Typical Composition and Flow Temperature of Fusable CVD Glass.

BPSG Type	WT % P	WT % B	Densification Temp. (°C)	Densification Time	Densification Atmosphere
A-1	2.7	5.2	850	30 min, 3 hour	H ₂ : 9 L, O ₂ : 6 L, HCL : 500 ML
A-2	2.7	5.2	850	30 min, 1 hour	N ₂
A-3	2.7	5.2	900	1 hour, 30 min	H ₂ : 9 L, O ₂ : 6 L, HCL : 500 ML
A-4	2.7	5.2	900	1 hour, 30 min	N ₂
B-1	2.3	6.1	850	30 min, 3 hour	H ₂ : 9 L, O ₂ : 6 L, HCL : 500 ML
B-2	2.3	6.1	850	30 min, 1 hour	N ₂
B-3	2.3	6.1	900	1 hour, 30 min	H ₂ : 9 L, O ₂ : 6 L, HCL : 500 ML
B-4	2.3	6.1	900	1 hour, 30 min	N ₂
B-5	2.3	6.1	950	3 hour, 30 min	H ₂ : 9 L, O ₂ : 6 L, HCL : 500 ML
B-6	2.3	6.1	950	3 hour, 30 min	N ₂
C-1	4.3	4.6	850	30 min, 1 hour	H ₂ : 9 L, O ₂ : 9 L, HCL : 500 ML
C-2	4.3	4.6	850	30 min, 1 hour	N ₂
C-3	4.3	4.6	900	1 hour, 30 min	H ₂ : 9 L, O ₂ : 9 L, HCL : 500 ML
C-4	4.3	4.6	900	1 hour, 30 min	N ₂

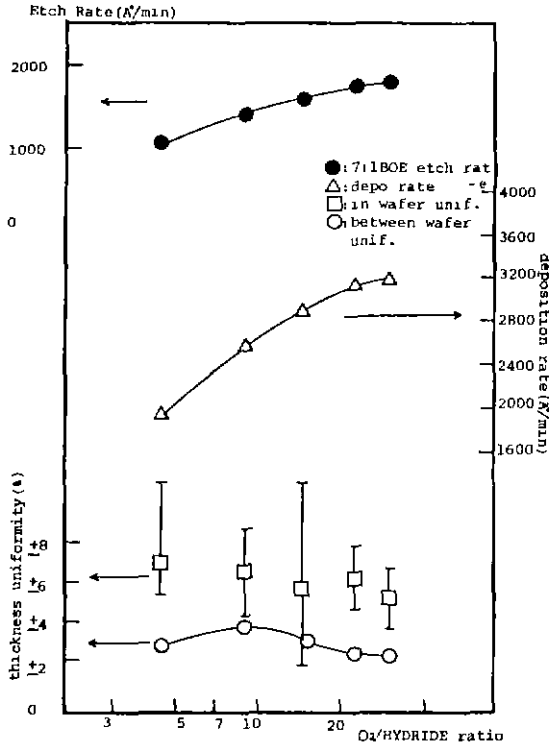


Fig. 4. BPSG film deposition rate, uniformity and etch rate versus O₂/hydrate ratio.

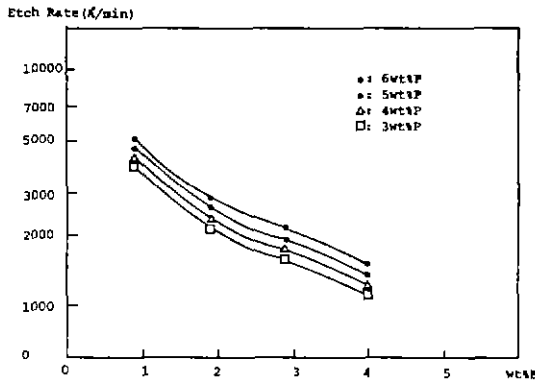


Fig. 5. BPSG film etching rate in 7:1 BOE.

sification 을 시키지 않는 매우 높은 Boron 함유량을 가진 sample 이 상온에서 고습도상태에 오랫동안 방치되었을 경우에도 나타났다. 그러나 wet chemical 처리를 하기전에 densification 을 할 경우 일반적으로 사용되는 조성에서는 충분히 안정하므로 별 문제가 없다. densification 을 HCl 분위기에서 하는 이유는 BPSG 막의 viscosity 가 N₂ 분위기보다 HCl 분위기에서 낮기 때문

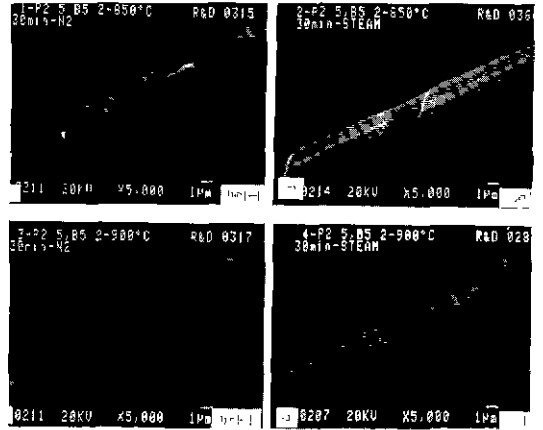


Fig. 6. Scanning electron micrographs of BPSG film :
 a) 30 min densified A-2 type film.
 b) 30 min densified A-1 type film.
 c) 30 min densified A-4 type film.
 d) 30 min densified A-3 type film.

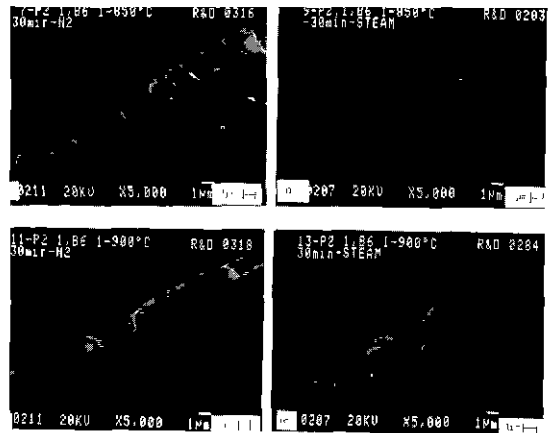


Fig. 7. Scanning electron micrographs of BPSG film :
 a) 30 min densified B-2 type film.
 b) 30 min densified B-1 type film.
 c) 30 min densified B-4 type film.
 d) 30 min densified B-3 type film.

에 양호한 평탄화를 얻을 수 있고 phosphorus 함유를 감소에 의한 Na 이온 침투방지 효과가 낮아지는 것을 보 상하기 위함이다. 각 분위기에서의 평탄화를 비교한 그림을 Fig. 9와 Fig. 10, Fig. 11에 도시하였다.

HCl 분위기에서의 현저한 평탄화의 향상을 850 °C 와 900 °C 사이에서 관찰할 수 있다. 한가지 유의할 점 은 900 °C 이상에서는 분위기에 따른 평탄화효과를 그 다지 기대할 수 없다는 사실이다. 그러나 shallow junction 으로의 dopant impurity 의 수직수평 diffusion 의 최

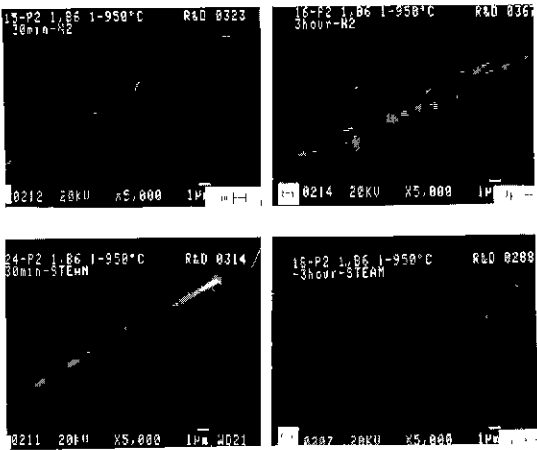


Fig. 8. Scanning electron micrographs of BPSG film:
 a) 30min densified B-6 type film.
 b) 30min densified B-6 type film.
 c) 30min densified B-5 type film.
 d) 30min densified B-5 type film.

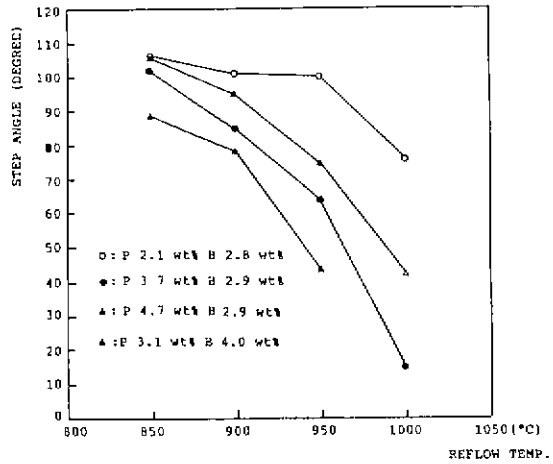


Fig. 11. BPSG film step-angle at each densification composition.

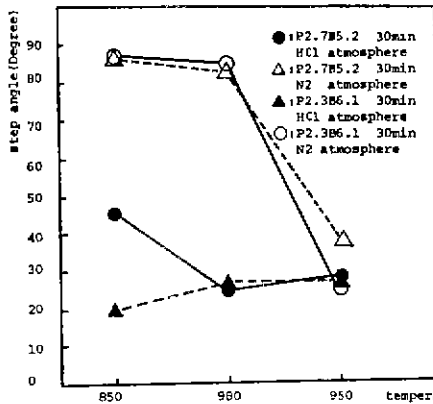


Fig. 9. BPSG film step-angle at each atmosphere.

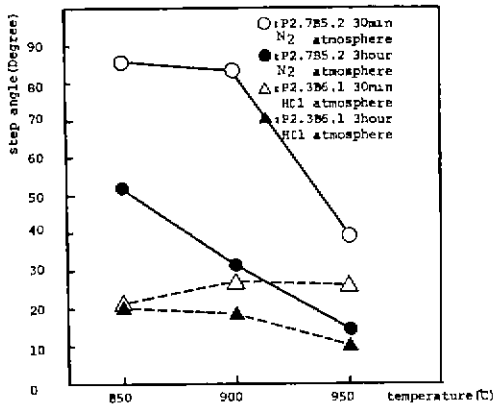


Fig. 10. BPSG film step-angle at each densification time.

Table 3. Typical BPSG Film DC Parameter.

DC Parameter	Spec	HCl Atmosphere BPSG	Normal BPSG
VT 1 25/10	1.025-1.20	0.996	0.992
VT 1 25/3.0	0.7-0.89	0.702	0.706
VT 1 Access	0.83-1.11	0.828	0.828
Leff 25/3	Micron	1.35	1.33
BV. P 2 Gox	25-45 V	33.6	34.2
BV. P 1 Gox	25-45 V	37.0	37.0
BV N+ Diode	29-34 V	32.0	31.0
N+ 120/6	18-23	18.2	17.8
Cont N+	0.45-0.65	0.646	0.681
Cont P 2	0.50-0.75	0.573	0.508
Cont. Bur.	2.0-3.5	2.23	2.13
Metal Conti.	14-20	13.6	14.5
P 2 120/6	22-32	22.0	20.7
N+ 120/6	17.5-27.5	26.5	27.1
N+ 60/3	17.5-27.5	24.3	24.9
N- 120/6	850-950	941	948

소화 및 상호침투되는 junction width를 최소화하기 위해서 900°C 보다 낮은 저온화 공정이 요구되는 현시점에서는 850°C에서의 현저한 평탄화효과에 주목할 필요가 있다.

시편의 원소분석을 위해 DIGILAB社의 FT-IR과 KEVEX社의 X-ray 형광분석기를 사용하였고 조성에 따른 분석결과를 Fig. 12 와 Fig. 13에 도시하였다. 또

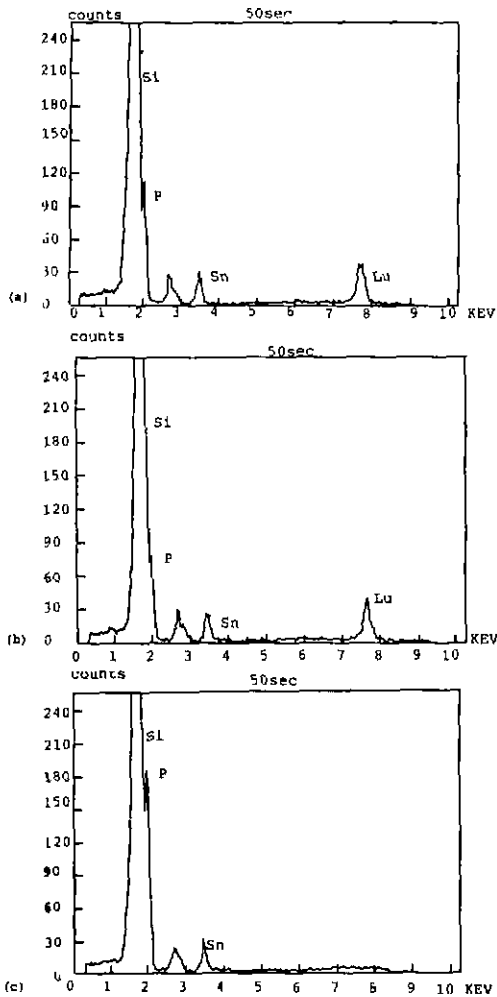


Fig. 12. TYPICAL BPSG film KEVEX analysis profiles :
a) type A b) type B c) type C

에서 볼 수 있듯이 기본 원소인 Si, B, P 외에 미량의 Sn, Lu가 검출되었다.¹²⁾ 본 공정을 이용한 device의 수직구조를 Fig. 14에 도시하였으며 device의 DC parameter를 측정된 결과를 Table 3에 자세히 표시하였다. 종래의 막에 비하여 현저한 metal continuity의 향상을 Table 3에서 볼 수 있다. 그외의 다른 전기적 특성들도 모두 공정 규격내에 들어가므로 본 공정을 실제 device에 적용시켜도 된다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

poly line과 metal line의 양호한 평탄화와 Na이온 gettering 효과를 본 공정을 사용하므로써 얻을수 있었

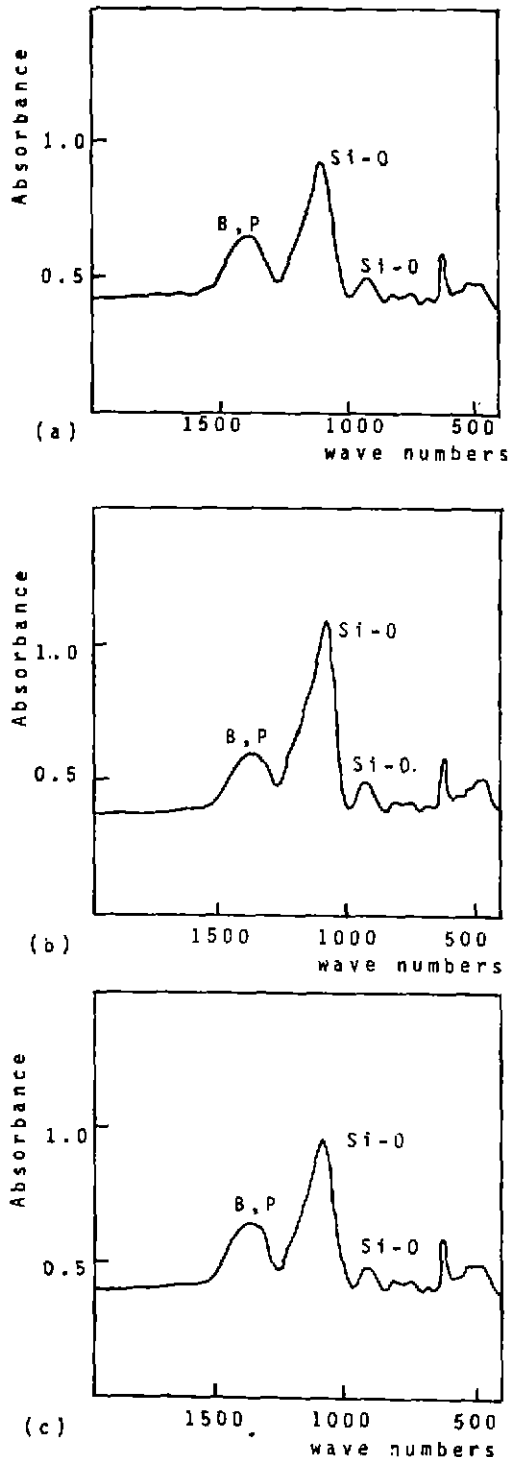


Fig. 13. TYPICAL BPSG film FT-IR analysis profiles :
a) type A b) type B c) type C

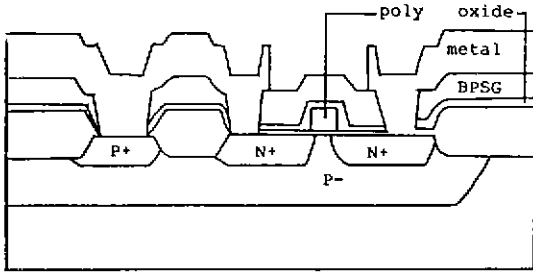


Fig. 14. Vertical structure of device.

으며 HCl 분위기에서 steam densified BPSG film의 장점은 다음과 같다.

- 1) 평탄화가 다른 어떤 공정보다도 양호하게 달성된다는 점
- 2) Na 이온 gettering 효과를 얻을 수 있다는 점
- 3) Contact etch를 위한 chemical oxide etchant에서의 etching rate가 느리므로 식각균일성 조절이 쉬워진다.
- 4) 내부 인장강도가 작으므로 crack, void 등의 defect가 없는 층간 절연막을 형성할 수 있다.

REFERENCE

1. J. L. Vossen, Jr., "Technique for Planarization of Multilevel Metalization for Semiconductor Devices", RCA Tech. Notes, 1348, April 30, 1984.
2. W. Kern, "Densification of Vapor Deposited Phospho-Silicate Glass Films", RCA Rev., 37(1), 55-77 (1976).
3. K. Nassau, R. A. Levy, and D. L. Chadwick, "Modified Phosphosilicate Glasses for VLSI Applications", J. Electrochem. Soc., 132, 409-415 (1985).
4. V. Teal, C. Ha, and C. Chowaniec, "BPSG as Interlevel Dielectric for Double-Level Metal Process", Second Int. IEEE VLSI Multilevel Inter-

- connection Conf., Santa Clara, CA, June 24-26, 1985; Conf. Proc., pp. 273-279.
5. C. Dornfest, "The Effect of Reducing Deposition Temperature in an Atmospheric Pressure BPSG Process", Electrochem. Soc. Ext. Abstr. 85-1, 347 (May 1985).
6. W. Kern and G. L. Schnable, "Chemically Vapor Deposited Borophosphosilicate Glasses for Silicon Device Applications", RCA Rev. 43(3), 423-457 (1982).
7. C. Ramiller and L. Yau, "Borophosphosilicate Glass for Low Temperature Reflow", paper presented at SEMICON / WEST 82', May 25, 1982, San Mateo, CA; Tech. Program Proc., pp. 29-37.
8. R. L. Kleppinger, "Wafer Particle Reduction in LSI Production", RCA Engineer, 30(3), 60-64 (May / June 1985).
9. G. Smolinsky and T. P. H. F. Wendling, "Measurements of Temperature Dependent Stress of Silicon Oxide Prepared by a Variety of CVD Methods", J. Electrochem. Soc., 132, 950-954 (1985).
10. W. Kern, "Borophosphosilicate Glass Films for VLSI Applications", Microfabrication Technol. Rev. 84, Annual Symp., New England Chapter. AVS: Nashua, NH, June 11-12, 1984.
11. W. Kern, "Chemical Etching of Dielectrics", in H. G. Hughes and M. S. Rand, Eds., Proc. Symp. Etching for Pattern Definition, The Electrochem. Soc., Princeton, NJ, 1976, pp. 1-18 d.
12. K. Krishnan, "Simultaneous Determination of the Boron and Phosphorus Content in Silicate Glasses by FT-IR Spectroscopy", in Semiconductor Processing, STP 850, D. C. Gupta, Ed., ASTM, Nov. 1984, pp. 358-363.