

半導體分野에 있어서 高融點 Metal-Silicide技術과 그 活用現況(I)

成 萬 永 朴 永 鎮
(檀國大 工大 教授) (檀國大 大學院)

■ 차 례 ■

- 1. 序 論
 - 2. 集積回路에 적합한 Silicide
 - 3. 실리사이드 膜의 形成方法
 - 4. 실리사이드 膜의 構造
 - 5. 熱處理에 의한 組成 變化
 - 6. 실리사이드 膜에 있어서 인(P)의 도핑
 - 6.1 실리사이드膜 中の 인(P)
 - 6.2 실리콘에의 인(P)擴散
 - 7. 실리사이드 膜의 熱酸化
 - 7.1 실리사이드/실리콘系의 酸化
 - 7.2 실리사이드/酸化膜系의 酸化
 - 7.3 酸化의 側面에서 실리사이드의 比較
 - 7.4 인이 도핑된 실리사이드의 低溫增速酸化
 - 8. 半導體 디바이스에의 應用
 - 9. 結 論
- 參考文獻(※ 7 장부터는 다음호에 게재 예정)

1 序 論

IC에 대한 集積度의 向上에 따라 칩의 치수는 크게되고 디바이스의 치수는 작아지는 경향에 있어서 칩 내에서도 信號傳達手段인 配線이 重要한 役割을 담당하게 된다는 사실은 기정사실화 되어있다. 配線에 있어서의 電壓降下는 配線 電極材料의 比抵抗에 좌우되므로 현재 活用되고 있는 폴리실리콘의 比抵抗으로는 VLSI의 게이트 電極 또는 配線配極材料로서 適當하다고 볼 수 없다.

따라서 현재 이들 문제를 개선하기 위하여 많은 연구가 추진되고 있으며 비저항이 낮은 高融點 金屬실리사이드가 폴리실리콘을 대체할 수 있는 유력한 電極材料로서 주목받고 있는 실정에 있다. 그러므로 本 解説에 있어서는 현재 많은 研究가 進行되고 있는 Silicide의 現況을 파악하고 半導體分野에의 活用可能性을 기술하고자 한다.

현재 集積回路分野에 있어서 폴리실리콘이 차지하는 비중은 매우 높고 MOS 集積回路에서는 폴리실리콘 게이트를 마스크로 하여 이온주입 방법에 의한 소오스 및 드레인을 形成하고 있다. 이와 같이 폴리실리콘은 Self Aligned Technology와 조화를 이루면서 디바이스의 高性能化, 微細化 및 動作特性的 安定化를 성취하는데 매우 重要한 役割을 하고 있으며 바이폴라 集積回路에서도 폴리실리콘이 不純物 擴散源을 겸한 配線 電極으로 사용되고 있다. 이와 같은 현재의 IC 製作技術은 폴리실리콘을 기반으로하여 이루어지고 있기 때문에 低抵抗을 목표한 새로운 材料는 폴리실리콘 중심의 製作프로세스를 대폭적으로 變更改하지 않고 사용될 수 있는 것이 바람직하다고 思料된다. 이러한 측면에서 高融點 金屬 또는 그들의 실리사이드 등에 대한 低抵抗 配線材料는 오래전 부터 반도체분야에서 관심의 대상이 되어 왔으나 지금까지는 低抵抗材料를 活用하는 것 보다도 素子の 微細化를 추진하는 方案이 IC性能向上度에 큰 영향을 줄 수

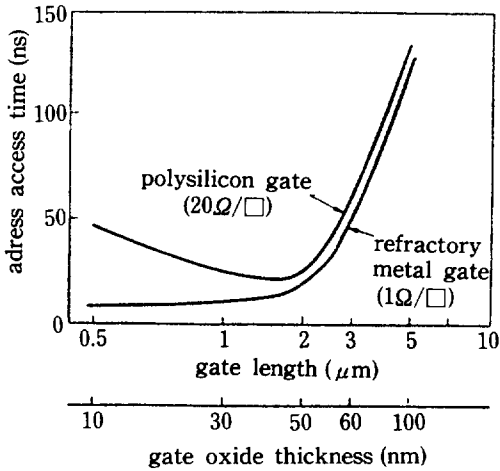


그림 1. nMOS 4K Static RAM의 微細化에 있어서 性能 予想

있었기 때문에 소자의 微細化에 더 비중을 두고 있었다. 그러나 1~1.5 μm보다 작은 치수로 微細화된 LSI 및 VLSI의 素子가 實現되면서 素子 微細化에 의한 配線抵抗 증가의 效果가 소자 성능의 향상에 害因자로 부각되고 있어 이와 같은 素子에서는 低抵抗材料의 採用이 重要하다고 생각된다(그림 1 參考).

이상과 같이 폴리실리콘을 대체한다는 측면에서 실리사이드 電極에 要求되는 條件을 정리하여 검토하여 보면 다음과 같다.

1) 高温 프로세스에 대한 耐力

電極材料은 IC製作工程의 高温 프로세스에서 變形·變質되지 않고 실리콘 또는 실리콘酸化膜 등과 反應하지 않아야 하는 條件이 要求된다.

2) 熱酸化 可能性

게이트電極 또는 第1層配線을 熱酸化해서 絶緣膜을 形成하는 프로세스는 IC製作工程에 있어서 중요한 意味를 가지고 있다. 따라서 熱酸化가 可能하게 되면 게이트電極 形成後에 酸化 雰圍氣속에서 熱處理하는 프로세스도 採用할 수 있고 製作工程設計의 自由度도 크게 높일 수 있는 장점이 있다.

3) 耐藥品性

電極材料은 IC製作工程에서 사용되는 모든 藥品(硫酸, 硝酸, 塩酸, 沸酸 등)에 침해되지 않

는 것이 要求된다.

4) 加工狀態

습식 또는 건식에칭을 통해 微細 패턴으로의 加工이 可能해야 한다.

5) 成長 및 附着形成의 可能性

蒸着, 스퍼터링, CVD 등 通常 IC製作에 使用되는 方法에 의한 附着形成이 실현될 수 있어야 한다.

6) 不純物擴散源으로도 使用될 수 있는 성질

실리콘 속에 不純物(P, B 등)을 熱擴散할때의 擴散源으로도 活用될 수 있을 경우 buried layer의 구성 등 최근의 多바이스製作技術과 조화를 이룰 수 있다.

7) 低抵抗 ohmic contact의 實現

앞에서도 언급한 바와 같이 실리콘과 良好한 ohmic接觸이 要求되며, 특히 高温 프로세스 후에 低抵抗을 유지할 수 있는 接觸의 性質이 필요하다.

8) Migration이 일어나지 말아야 한다.

실리콘과의 接觸部 또는 最終配線材料로서 일반적으로 사용되는 알루미늄(Al)과의 接觸部에서 熱的 또는 電氣的인 Migration을 일으키지 않아야 한다는 조건은 信賴性確保上 要求되는 性質이다.

以上에서 언급한 조건들이 半導體分野에 活用할 수 있는 金屬Silicide의 대체적인 必要條件들이고 많은 실리사이드중 高融點 金屬Silicide에 있어서 上記의 性質을 어느정도 만족하고 있는 것들이 있으며 導電率은 폴리실리콘에 비해서 10배 이상 크기 때문에 VLSI時代의 새로운 게이트 및 配線材料로서 研究開發이 進行되고 있는 실정이었다. 지금까지의 研究開發側面에서의 高融點 金屬실리사이드에 대한 不純物擴散源으로서의 機能이 제시되어 있지 않았으나 최근에는 몰리브덴실리사이드에 인(P)을 도핑하는 方法이 시도되고 있어 不純物擴散源으로서의 機能을 可能하게 하고 있다.

本 解説에서는 이 인·도핑·몰리브덴·실리사이드를 중심으로 실리사이드를 半導體分野, 특히 MOS集積回路에의 活用과 실리사이드가 가지고 있는 性質에 대하여 기술하고자 한다.

② 集積回路에 적합한 Silicide

실리콘은 많은 元素들과 化合物(Silicide)을 形成할 수 있으며 그중에서도 集積回路에 活用할 수 있는 실리사이드는 주기율표 IV A, V A, VI A族 金屬으로 形成된 실리사이드이다. 이들 실리사이드에서는 실리콘과 金屬은 金屬結合, 실리콘끼리는 共有結合의 형태를 이루고 있으며 실리사이드의 形成에 관한 研究의 方法으로서 金屬과 실리콘의 固相反應을 예로 들 수가 있다. 이와 같은 실리사이드의 形成에 관한 연구에서 실리사이드의 熱處理에 의한 諸現象과 가장 安定한 실리사이드의 形態등이 報告되고 있으며 表 1에 실리사이드의 最終形態에 대한 性質을 參考로 수록하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 게이트電極 또는 配線電極材料로서 低抵抗이며 耐藥品性이 우수하고 高温熱處理에 견딜 수 있으며 多層配線構造에서의 最終配線材料(예를 들면 Al)와 共存할 수 있는 것을 찾아보면 티타늄(Ti), 탄탈늄(Ta), 바나듐(V), 몰리브덴(Mo), 텅스텐(W) 실리사이드 등이 있으나 Ti, Ta, V로 構成되는 실리사이드는 沸酸에 용해되는 결점이 있어 현재 가장 주목을 받고 있는 材料로서는 몰리브덴(Mo)과 텅스텐(W)으로 形成된 실리사이드이다.

③ 실리사이드膜의 形成方法

실리사이드膜의 形成에는 여러가지 方法이 提示되고 있으나 몇가지 대표적인 方法을 열거하면 다음과 같다.

- 1) 실리콘과 金屬의 2層構造를 蒸着 또는 스퍼터링방법으로 形成하고 熱處理에 의한 反應으로 실리사이드膜을 形成한다.
- 2) 실리콘 및 金屬을 각각의 타겟트를 사용하여 同時に 스퍼터링(Cosputtering) 하여 원하는 비율의 실리사이드膜을 形成한다.
- 3) Hotpress法으로 形成한 실리사이드를 타겟트로 사용해서 스퍼터링法에 의해 形成한다.
- 4) 실리콘과 金屬을 각각 별도로 히터 또는 電子銃을 사용해서 동시에 蒸着한다(Coevaporation).
- 5) CVD法으로 形成한다.

이상의 方法이 실리사이드形成에 있어서 제시되고 있는 대표적인 方法이며 이들 외에도 SiH₄를 포함한 가스속에서 金屬을 스퍼터링하는 方法등도 提案되고 있다. 한가지 예로서 몰리브덴 및 실리콘을 타겟트로 使用한 上記2)의 方法에 대하여 설명하면 다음과 같다. 그림2에 DC 마그네트론 스퍼터링法에 대한 장치의 개략적인 블록다이어그램을 나타내었으며, 타겟트는 그림 3과 같이 高純度の 몰리브덴板 위에 扇狀으로 切斷한 高純度 실리콘結晶이 놓여있다. 그리고 이 方法에는 실리콘과 몰리브덴의 表面積을 변

表 1. Silicide膜의 最終狀態에 대한 性質

Silicide	Phases	Process Compatibility	Resistivity (microhm-cm)	Al/Silicide/Si Temperature (°C)	Melting Point (°C)
Pt	MSi and M ₂ Si	low-temperature processes	28 to 35	300	1,230
Ti	MSi ₂ and M ₂ Si ₃ , MSi	soluble in HF	16 to 26	500	1,540
Zr	MSi ₂ and M ₂ Si, M ₃ Si ₃ , MSi	soluble in HF	35 to 40	not available	1,700
V	MSi ₂ and M ₂ Si, M ₃ Si ₃	dissolve in HF, HNO ₃ +HF, and H ₂ PO ₄	50 to 55	not available	1,750
Hf	MSi ₂ and MSi	soluble in HF	45 to 50	not available	1,950
Nb	MSi ₂ and M ₂ Si ₃	dissolve in HF	50	not available	1,930
Mo	MSi ₂ and M ₂ Si, M ₃ Si ₃	resistant to acids and alkalis	40 to 100	500	2,050
W	MSi ₂ and M ₂ Si ₃	resistant to acids and alkalis	30 to 100	550	2,165
Ta	MiSi ₂ and M ₂ Si ₃	dissolve slowly in HF	35 to 70	>500	2,200

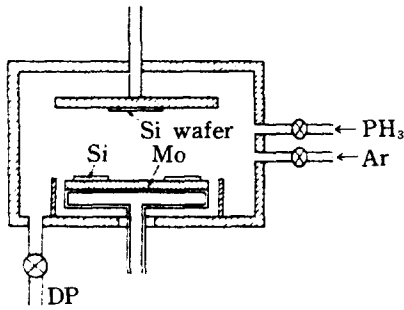


그림 2. 몰리브덴 실리사이드 스퍼터링 장치의 블록 다이어그램

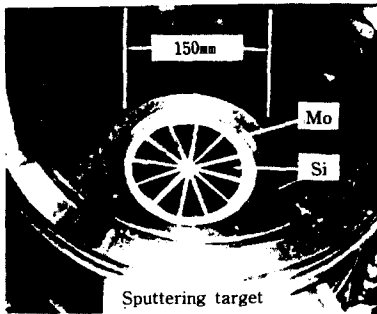


그림 3. 스퍼터링 장치의 타겟 부분

화시키므로써 웨이퍼 위에 형성되는 실리사이드膜에 있어서 실리콘과 몰리브덴의 組成比를 자유로이 선택할 수가 있으며, 실리콘과 몰리브덴 각각 純度가 좋은 材料를 얻을 수 있기 때문에 炭素, 酸素 등의 不純物 함유량이 적은 실리사이드膜을 形成할 수 있다는 장점이 있다. 한편 그림 2에 나타난 바와 같이 스퍼터 가스속에 PH₃가스를 혼합시켜 形成되고 있는 실리사이드膜 속에 P를 도핑하는 것이 가능하다.

4 실리사이드膜의 構造

表面을 熱酸化한 실리콘 웨이퍼 위에 앞에서 기술한 방법으로 形成된 실리사이드膜의 結晶構造에 대한 X線回折實驗結果를 그림 4에 나타내었다. 形成된 狀態(as depo.)의 실리사이드膜에서는 몰리브덴과 실리콘의 比(Mo/Si)가 커 소위 메탈리치 실리사이드(metal rich silicide)가 되어 微結晶構造로 되어있고 몰리브덴과 실

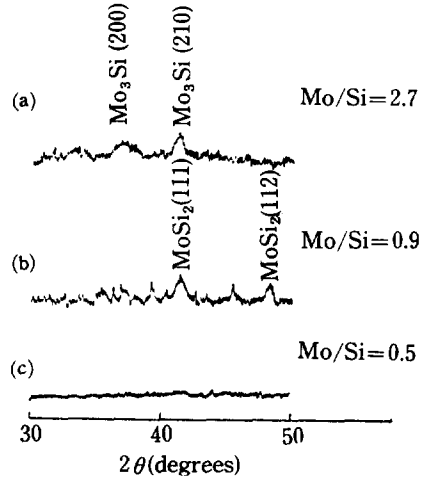


그림 4. 몰리브덴 실리사이드膜(as depo.)의 X線分析

리콘의 比(Mo/Si)가 0.5 즉 Disilicide (Mo : Si = 1 : 2) 및 그 이상으로 실리콘이 많은 膜에서는 無定形狀態(amorphous)로 되고 이 膜을 熱處理하면 그림 5에 나타난 바와 같이 熱處理溫度의 上昇과 더불어 結晶化가 進行되어 MoSi₂ 結晶이 觀測되고 있다는 것을 알 수 있다. 이 現象은 몰리브덴·실리사이드에 국한되지않고 高融點金屬 실리사이드에서 전반적으로 나타나고 있는 결과이며 실리콘리치 실리사이드 膜은 熱處理後 無定形狀態의 실리콘 속에 金屬디실리사이드(Metal Disilicide, MSi₂)의 微結晶이 들

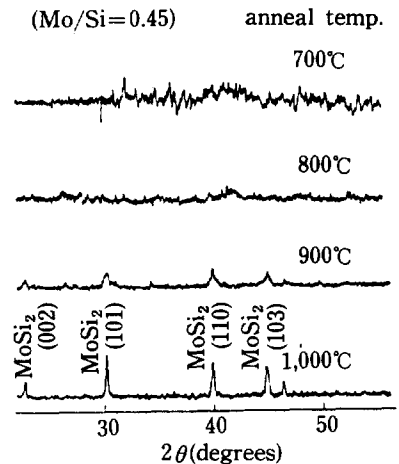


그림 5. 실리사이드膜의 熱處理에 의한 結晶化

어있는 상태가 TEM 등의 觀測으로 확인되었다.

結晶構造를 상세히 分析하여 보면 as depo.의 膜에서는 Hexagonal 結晶으로 되어 있지만 高温熱處理 後에는 Tetragonal 結晶이 성장되어 있다. 텅스텐·실리사이드(WSi_2)에서도 같은 現象이 觀測되고 있으며 Hexagonal構造에서 Tetragonal構造로 변하는 轉移溫度는 $600\sim 700^\circ C$ 인 것으로 보고되고 있다. 종래에는 Hexagonal構造의 WSi_2 에 대한 報告가 없어서 이들 연구결과에 대한 많은 관심을 불러 일으키고 있으며 이 結晶構造의 變化를 溫度를 일정하게 하

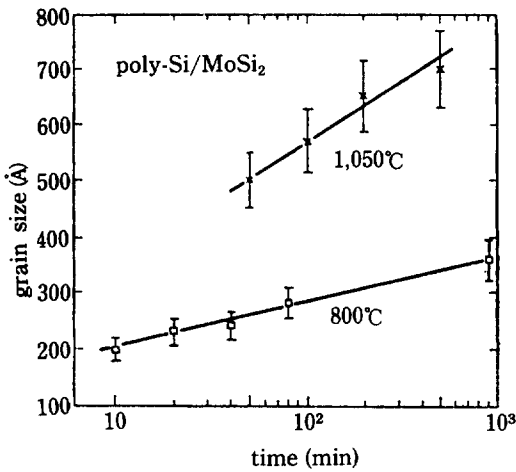


그림 6. 熱處理時間과 結晶粒徑

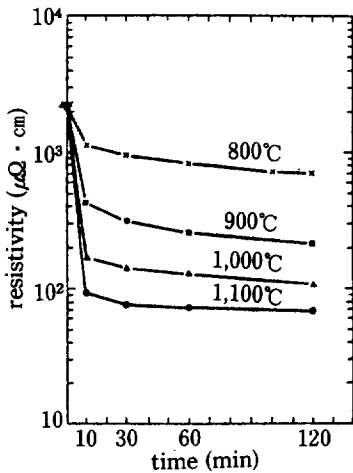


그림 7. 실리사이드膜의 熱處理에 따른 比抵抗의 變化

고 時間(t)의 함수로 나타내면 t 에 比例하기 때문에 실리사이드膜中 어떠한 종류의 擴散이 變化를 야기시키는 것이라고 提案되어 있다. 微結晶의 粒徑은 熱處理溫度가 높을수록, 處理時間이 길수록 크게 나타나고 있으며 그림6이 폴리실리콘상의 몰리브덴·실리사이드膜에 대한 結晶粒徑의 增大를 測定하여 나타낸 결과이다.

실리사이드膜의 比抵抗은 그림7에 나타난 바와 같이 熱處理溫度의 上昇과 處理時間의 增加에 따라 降低되고 있으며 이것은 실리사이드膜의 結晶化 및 結晶粒徑의 增大에 의한 것으로 생각된다. 結晶粒徑과 比抵抗 사이에는 그림8과 같은 상관관계가 있고 또 실리사이드膜의 比

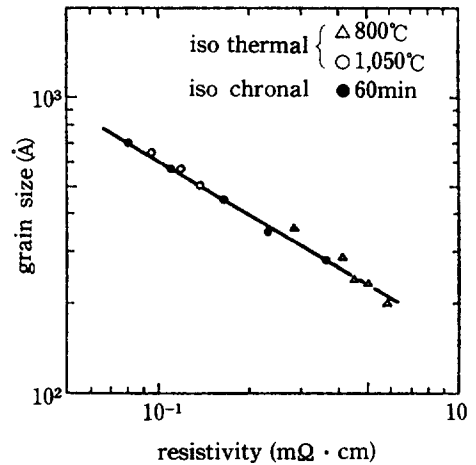


그림 8. 실리사이드膜의 比抵抗과 結晶粒徑

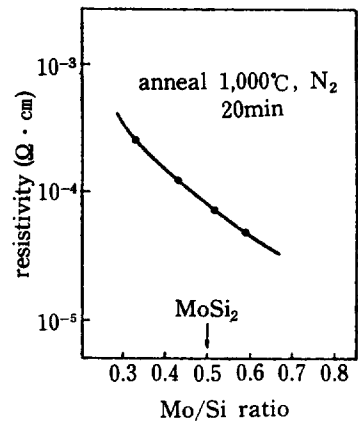


그림 9. 실리사이드膜의 組成과 比抵抗

抵抗은 金屬과 실리콘의 組成比에도 관계되어 그림 9에 나타낸 바와 같이 실리콘의 含有比가 클수록 比抵抗은 높게 나타나고 있다.

5 熱處理에 의한 組成變化

몰리브덴·실리사이드膜을 高温 熱處理하면 特徵이 있는 組成變化를 일으킨다. 그림 10은 실리콘 酸化膜 위에 $MoSi_2$ 보다 실리콘의 비율이

많은 실리사이드膜 ($Mo:Si \approx 1:3$)을 形成하고 窒素 霧圍氣 $1000^\circ C$ 에서 20분간 熱處理한 경우의 膜 組成을 後方散亂(RBS)방법으로 觀測한 결과로서 그림에서 알 수 있듯이 열처리에 의해 膜의 두께 方向의 中央部는 $MoSi_2$ 의 組成이 되고, 실리사이드膜의 表面 및 실리콘 酸化膜과의 界面은 실리콘成分이 많은 실리사이드層으로 變化하고 있다. 한편 $MoSi_2$ 보다도 몰리브덴成分이 많은 실리사이드膜 ($Mo:Si \approx 1:1$)을 같은 방법으로 실리콘 위에 形成하고 熱處理를 하면 실리사이드膜의 중앙부에 $MoSi_2$ 層이 形成되고 膜表面 및 실리콘 酸化膜과의 界面 근처에서는 몰리브덴·리치의 層이 形成된다(그림 11). 그리고 $MoSi_2$ 보다 실리콘成分이 많은 실리사이드膜을 실리콘 위에 形成하고 같은 방법으로 熱處理를 하면 이 경우에는 그림 12와 같이 실리콘이 실리콘기판과 그 界面 근처에서 析出되어 $MoSi_2$ 와 Si의 2層構造가 되며, 반대로 $MoSi_2$ 보다도 몰리브덴成分이 많은 실리사이드膜을 실리콘 위에 形成하여 熱處理한 後에는 그림 13과 같이 실리사이드膜 中の 몰리브덴이 실리콘基板의 실리콘과 反應하여 膜全體가 $MoSi_2$ 의 組成으로 된다는 것을 알 수 있다. 최근 텅스텐·실리사이드에서도 같은 양상의 현상이 보고되고 있으며 이 實驗에서

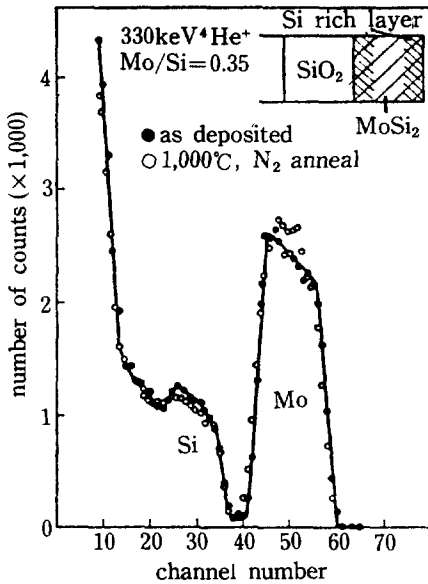


그림 10. SiO_2 膜 위의 실리사이드膜 (Silicon rich)에 대한 RBS 스펙트럼

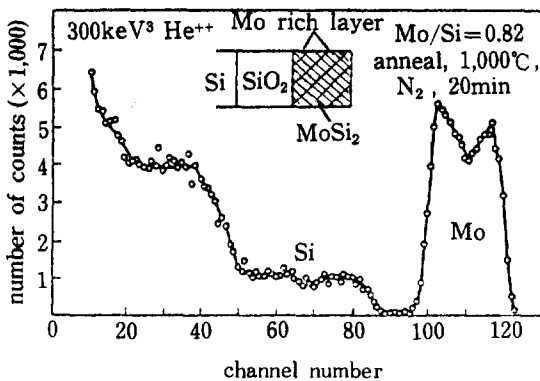


그림 11. SiO_2 膜 위의 실리사이드膜 (Mo rich)에 대한 스펙트럼

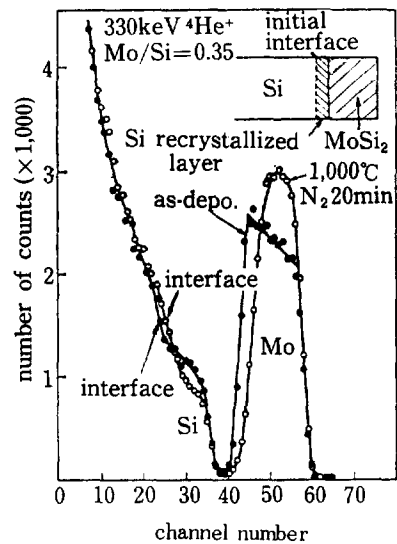


그림 12. 실리콘 위의 실리사이드膜 (Silicon rich)에 대한 RBS 스펙트럼

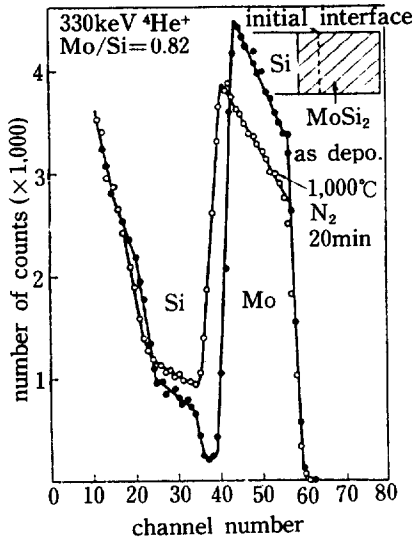


그림13. 실리콘위의 실리사이드膜(Mo rich)에 대한 RBS 스펙트럼

는 메탈리치·실리사이드와 실리콘의 反應은 700°C 정도에서 발생하지만 실리콘·리치·실리사이드에 있어서 실리콘의 析出은 1000°C 이상의 高温熱處理가 요구되고 있는 것으로 발표하고 있다.

여러 研究結果로 부터 高融點金屬의 실리사이드에서 가장 안정한 것은 MoSi₂의 形態라는 것을 알 수 있으며 熱處理를 하므로써 가장 안정한 실리사이드層이 膜의 일부에 형성되고 나머지部分의 金屬 또는 실리콘은 應力이 높은 곳에 모이지만 반응할 수 있는 실리콘이 있는 경우에는 그것과 反應하여 膜全體가 안정한 組成으로 形成된다.

⑥ 실리사이드膜에 있어서 인(P)의 도핑

6.1 실리사이드膜 中の 인(P)

몰리브덴·실리사이드膜에 인(P)의 도핑은 앞절들에서 설명한 바와 같이 스퍼터링할때 스퍼터링가스에 불순물가스인 PH₃를 혼합시켜 가능하게 하고있으며 그림14는 스퍼터링 가스의 성분분을 質量分析한 결과를 나타낸 것으로서 스퍼터링 開始前에는 스퍼터링 가스에 포함되어

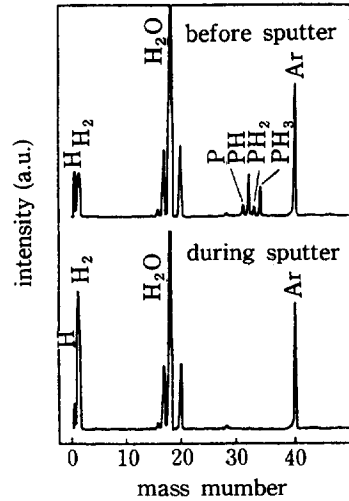


그림14. 스퍼터링 가스의 質量分析 스펙트럼

있던 PH₃ 및 이와 연관된 스펙트럼이 프라즈마放電 開始와 더불어 消滅하고 水素에 대한 스펙트럼이 나타나고있는 것으로 부터 PH₃가 프라즈마 放電에서 分解한다는 것을 알 수 있다. 스퍼터링 동안 가스속에 인의 스펙트럼信號가 觀測되지 않는 것은 인이 실리사이드膜으로 들어가고 있다는 것을 나타내 주고 있으며 실리사이드膜 속에 인(P) 濃度を 放射化學 分析으로 구한 예를 그림15에 나타내었다. 스퍼터 가스에 포함된 인의 濃도와 실리사이드膜 속의 인의 濃도는 거의 比例關係에 있지만 실리사이드膜의 組成, 즉

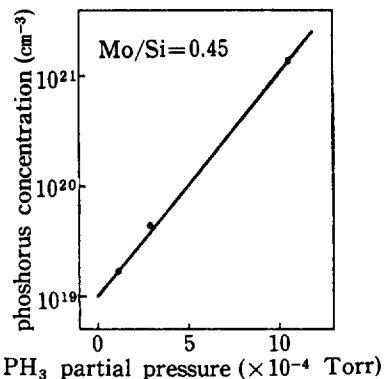


그림15. 스퍼터링 가스중 PH₃ 分圧과 形成된 실리사이드膜에 있어서의 인(P) 濃도와 의 關係

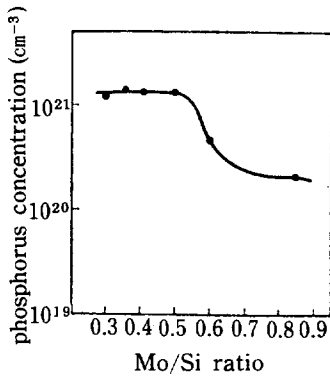


그림 16. 실리사이드膜의 組成과 실리사이드膜에 있어서 인(P)濃度와의 關係

몰리브덴과 실리콘의 比에 따라서는 크게 변하고 있다(그림 16). 몰리브덴의 실리콘에 대한 比가 0.5(Mo:Si=1:2)인 점을 경계로 해서 실리콘의 組成比가 높은 膜에서는 인이 多量으로 포함되어 있지만, 역으로 몰리브덴의 組成比가 높은 膜에는 인이 많이 포함되어 있지 않는 것으로 보고되고 있다. 그리고 이와같이 인을 포함한 실리사이드膜을 熱處理한 경우의 인에 대한 含有量의 變化는 그림 17과 같으며, 실리사이드膜을 窒素雰圍氣 속에서 熱處理하면 熱處理溫度가 800°C~900°C를 초과하는 부근에서 인의 含有量이 急激하게 減少되고 있다. 그렇지만 실리사이드膜을 酸素雰圍氣 속에서 熱處理한 경우에 있어서는 인의 濃度가 1000°C를 넘는 熱處

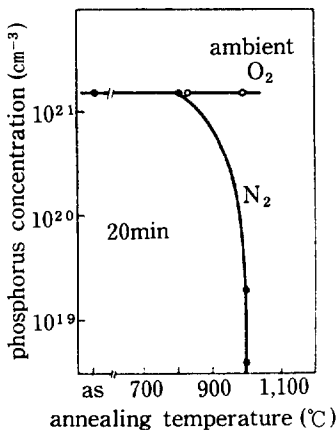


그림 17. 熱處理에 의한 인(P)濃度의 變化

理溫度에서도 거의 變化되지 않는 것으로 나타나 있다. 이와 같은 現象을 이해하기 위해 실리사이드膜 속에 인의 結合狀態를 X線分光分析(XPS)을 사용하여 觀測하였으며 그림 18에 실리사이드膜 속의 인의 2P電子(P_{2p})의 XPS測定데이터를 나타내었다. P_{2p}는 그림중 結合에너지가 E₁(129.5eV)인 점에서 피크를 나타내고 있으며 이 에너지는 인·도핑·폴리실리콘(as depo.)에 있어서의 P_{2p}에 대한 XPS 결과에서 나타난 에너지와 같은 것으로 보고되어 있다. 실리사이드膜을 인이 감소하지 않도록 酸素雰圍氣 속에서 1000°C로 熱處理한 경우의 XPS에서는 P_{2p}의 피크에 있어서 앞에서 설명한 E₁ 이외에 隣接된 부근에서 結合에너지 E₂(130.1eV)인 피크가 觀測되고 있다. 인·도핑·폴리실리콘의 경우에는 熱處理에 의해 P_{2p}의 피크는 E₁에서 結合에너지 E₂(134.5eV)로 移動하며(그림 19 참고) 이것은 格子間原子의 位置에 있는 인이 熱處理에 의해 置換型原子(substitutional)로서의 位置로 이동한 것에 對應하는 것으로 생각된다. 그렇지만 실리사이드膜의 경우는 格子間原子로 存在하는 인이 熱處理에 의해 金屬의 性質과 같은 形態로 置換되는 것으로 판단된다. 실리사이드膜에 있어서 인은 形成時 실리콘과 結合하고 있을 가능성이 크고 膜形成時에 이미 結晶化가 進行되고 있는 메탈·리치·실리사이드膜에서는

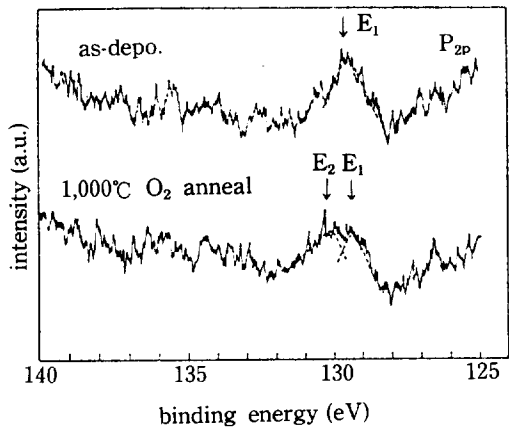


그림 18. 실리사이드膜中 인(P)의 XPS 스펙트럼

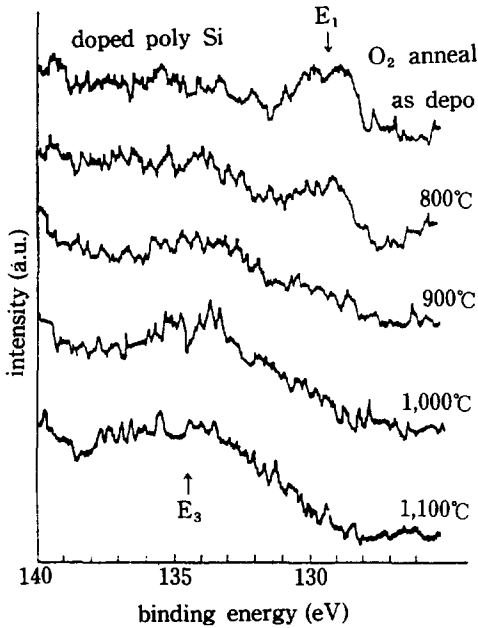


그림19. 폴리실리콘膜中 인(P)의 XPS 스펙트럼

熱處理에 의해 실리콘이 인을 떼어놓고 結晶化가 진전되기 때문에 인은 金屬과 같은 狀態가 되어 간단하게 析出된다. 그러나 酸素霧圍氣중의 熱處理에서는 실리사이드膜 表面에 실리콘酸化膜이 形成되기 때문에 인의 放出이 방지되고 高濃度로 인이 含有된 狀態를 高溫熱處理에서도 유지할 수 있다고 생각된다.

6.2 실리콘에의 인(P)擴散

P型(100) 실리콘 表面에 인·도핑·몰리브덴 실리사이드를 形成하고 酸素霧圍氣 속에서 熱處理(擴散)한 경우에 대한 인擴散 프로파일을 그림20 및 그림21에 나타내었다. 이 경우 Mo:Si = 1:2.2의 組成比로 構成된 실리사이드膜(두께 약 0.3 μ m)을 形成하고 실리사이드膜에 포함된 인의 濃度는 약 $1.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 로서 그림20은 擴散溫度 900°C에서 擴散時間을 變경한 경우에 대한 인의 프로파일이고 그림21은 擴散時間을 일정하게 하고 擴散溫度를 變경한 경우의 인의 프로파일을 나타낸 것이다.

이상의 결과로부터 알 수 있듯이 인·도핑·실

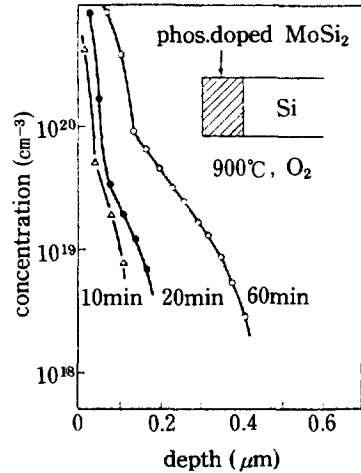


그림20. 인 도핑 실리사이드로부터 실리콘內로 擴散된 인의 濃度分布

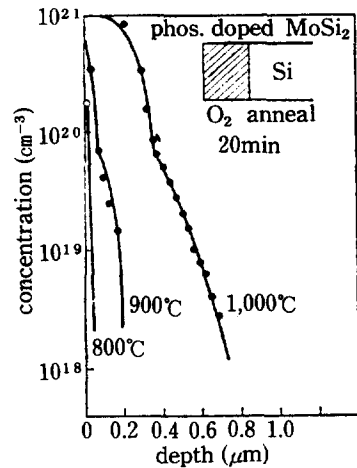


그림21. 인 도핑 실리사이드로부터 실리콘內의 濃度分布로 擴散된 인

리사이드로부터 인의 擴散은 인·도핑·폴리실리콘 또는 PSG로부터의 擴散과 같은 방법으로 가능하며 실리사이드膜으로부터 인 등의 不純物을 擴散시킬 수 있다는 것은 디바이스 製作上 큰 利點이라 볼 수 있다. 한 예로서 실리콘 基板과의 Ohmic Contact에 있어서 接觸抵抗의 改善에 대해서 설명하고자 한다.

그림22는 n⁺실리콘層과 실리사이드膜 사이의 接觸抵抗 測定결과로서 n⁺실리콘層은 인의 熱擴

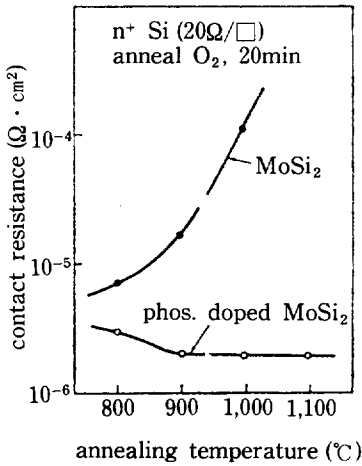


그림22. 실리사이드 · 실리콘의 接觸抵抗

散으로 形成된 것이다. 그리고 그림22에 인을 도핑하지 않은 실리사이드膜과 n+실리콘層의 接觸抵抗도 比較하여 나타내었으며, 인을 도핑하지 않은 실리사이드膜과 n+실리콘層 사이의 接觸에 있어서는 熱處理에 의해 일반적으로 接觸抵抗이 높아지는 傾向을 볼 수 있다. 이러한 結果의 原因으로서의 다음과 같은 몇가지를 열거할 수 있다. 즉 실리사이드膜 속의 炭素, 酸素 등의 不純物이 熱處理에 의해 실리사이드와 실리콘의 界面에서 析出되고 또 실리사이드膜 속에서 인은 金屬과 같은 性질로 되기 때문에 移動擴散이 쉽고 n+실리콘層의 表面에 도너不純物

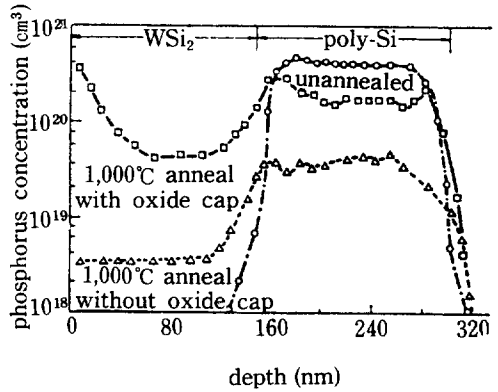


그림24. 폴리실리콘으로부터 실리사이드에의 인擴散 (酸化膜이 없는 경우 인은 Out diffuse 한다)

로 存在하고 있는 인이 쉽게 밖으로 떨어져 나가 表面의 不純物濃도가 낮아지는 現象 등으로 그 原因을 생각할 수 있다. 前者에 관해서는 그림23에 나타난 바와 같이 酸素의 含有量이 많은 실리사이드膜을 熱處理하면 실리사이드膜과 실리콘界面에 酸素가 모이는 現象이 確認되어 발표되고 있으며, 後者에 대하여서는 텅스텐 · 실리사이드 / 인이 도핑된 폴리실리콘 / 실리콘酸化膜 構造에 있어서 폴리실리콘 속의 인이 熱處理에 의해 위의 텅스텐 · 실리사이드膜을 쉽게 擴散하여 밖으로 放出되지만 실리사이드膜 表面을 酸化膜으로 構成하여 熱處理하면 인이 방출되지 않는다는 研究결과가 그림24에 나타난 바와 같이 발표되고 있으며 이러한 現象은 몰리브덴 실리사이드膜의 경우와 一致하고 있다. 몰리브덴 · 실리사이드와 실리콘界面에는 약 0.6eV의 쇼트키 장벽이 形成되어 있어 Ohmic接觸을 設定하기 위해서는 n+실리콘層의 表面濃도를 충분히 높게 유지할 必要가 있다. 인이 도핑된 실리사이드의 경우는 熱處理로 인하여 인이 충분히 供給되기 때문에 表面濃도의 低下는 크지않아 그림24에 표시한 것처럼 1100°C程度의 熱處理가 이루어져도 낮은 接觸抵抗을 유지할 수가 있는 것으로 발표되고 있다.

(다음호에 계속)

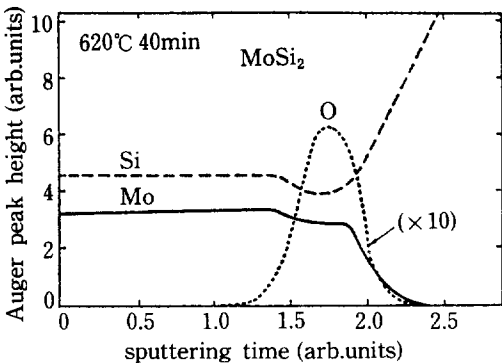


그림23. Mo/Si系의 熱處理後 Si, Mo, O의 分布 (酸素가 실리사이드 · 실리콘界面에서 析出된다)