

반도체 및 FPD 분야에 사용되는 SiH₄ 가스의 공정 안전 고찰

김중조[†] · 김 홍

호서대학교 벤처전문 대학원
(2007. 4. 20. 접수 / 2007. 8. 20. 채택)

Review on the Process Safety of SiH₄ Gas used in Semiconductor and FPD Field

Joung Cho Kim[†] · Hong Kim

Hoseo Graduate School of Venture, Hoseo University
(Received April 20, 2007 / Accepted August 20, 2007)

Abstract : When the vacuum system for the process of SiH₄ gas used in the semiconductor and FPD field is partially vented from vacuum to atmospheric state, a fire often occurs due to auto-ignition of SiH₄ gas. In order to prevent the fire, the concentration of SiH₄ should be kept under LFL. This means that the higher capacity pump is needed to meet the process conditions as well as the condition that the concentration of SiH₄ should be kept under LFL. In this article, we conducted the injection of the dilution gas at the manifold between booster pump and dry pump compared with the typical method that the dilution gas was injected into inlet port of booster pump using computer simulation. According to the result, we can flow further more purge gas for safety without any change of the condition in the process chamber, which means that the higher capacity pump is not required for safety in some cases.

Key Words : safety, fire, explosion, vacuum pump, silane, LFL, purge gas

1. 서 론

반도체 및 FPD 공정에 사용되는 진공펌프는 여러 종류의 혼합 가스들을 대기압보다 약간 높은 압력으로 압축하여 약 100~200℃ 사이의 온도로 배기하게 된다. 일반적으로 반도체 공정에 사용되는 가스들은 자연발화성, 가연성, 부식성, 유독성을 가지고 있고, 가스처리장치를 이용한 배기가스 처리가 환경 및 안전측면에서 매우 중요하기 때문에 배기를 위해 사용되는 진공 펌프에서의 폭발 혹은 화재를 억제하기 위한 조치가 필수적이다.

반응하지 않은 공정물질이나 증기(화학기상증착 공정에서의 가스반응 효율은 일반적으로 30%가 최대임), 휘발성 물질들과의 반응으로 인해 생성된 공정부산물들, 반응성이 강한 수소, 불활성 질소 및 아르곤(Ar)과 같은 carrier gas들이 섞여서 방출되어 펌프 내부에서 각종 현상이 일어나는 것이 보고되고

있다^{1,4)}. 그러나 공정에 사용되는 물질들이 공정 챔버로 유입되는 양과 농도를 정량적으로 확인할 수 있는 것과는 달리, 공정 챔버에서 반응이 일어난 후 배기되는 물질에 대한 농도, 조성, 양 등에 대한 정확한 정보는 알 수가 없다.

또한, 배기가스가 단일 종류일지라도 진공 펌프의 배기 과정에서 압축에 의해 발생하는 압축열(compression heat) 등으로 인하여 진공 펌프의 온도가 상승하게 된다^{5,6)}. 진공 펌프는 고립되어 있는 시스템이 아니므로 진공 펌프 내부에서 배기가스의 온도를 정확히 측정하는 것은 매우 어려우며, 이것은 배기가스의 온도와 압력에 관한 정확한 정보를 얻지 못한다는 것을 의미한다. 이러한 문제점으로 인하여 진공 펌프의 폭발이나 화재를 억제하기 위한 방법을 도출하기 위해서는 전산모사를 수행할 경우 최악의 상황과 조건을 고려한 방법을 적용할 수밖에 없다.

반도체 공정에 사용하는 다수의 가스들 중에서 SiH₄는 poly-silicon, silicon oxide, silicon nitride 등의 박막 증착에 사용되는 중요 가스 중 하나이다. SiH₄

[†] To whom correspondence should be addressed.
jc.kim@edwardsvacuum.com

는 실온에서 기체 상태이고 1.4%의 낮은 LFL(Low Flammable Limit), 96.0%의 높은 UFL(Upper Flammable Limit) 값을 가지며⁷⁻¹⁰⁾, 50℃의 공기 중에서 자연발화 하는 성질을 가지고 있다. 또한, 420℃ 이상에서 실리콘(Si)과 수소(H₂)로 분해되고, 순수한 상태에서는 무취상태이나 오염 시 시큼한 냄새가 나는 특징을 갖고 있다.

본 논문에서는 SiH₄를 사용하는 반도체 및 FPD 공정 중에서, 진공 펌프에서 SiH₄로 인한 폭발이나 화재를 억제하기 위해 퍼지(purge)하는 질소 가스량이 공정 챔버 내부의 압력(진공도)에 영향을 미치지 않는 범위를 결정하기 위해 퍼지 하는 질소 가스량과 진공 펌프의 용량에 대해 전산 코드(TransCalc 과 PumpCalc, BOC Edwards사 자체 개발 전산 코드)를 이용한 이론적 고찰을 수행하였다.

2. 진공시스템

Fig. 1은 반도체 및 FPD 공정의 저 진공용 박막 증착시스템의 개략도이다. 박막을 증착하는 동안 APC(Auto Pressure Control) 밸브를 이용하여 공정 챔버를 일정한 압력으로 유지하고, Process Gas Admit 밸브를 이용하여 챔버에 공정가스를 공급한다. 기본적으로 진공펌프는 챔버 내부의 압력을 특정 공정 압력으로 유지하면서 박막 형성을 위해 공급되는 공정가스를 배기할 수 있는 용량을 가져야 한다. 진공 펌프에 의해 배기되는 가스들은 Exhaust Line을 통해 Scrubber에서 처리된 후 Duct를 통해 대기 중으로 배기된다. Scrubber와 Duct는 Fig. 1에 도시되지 않았다. 펌프에서 배기된 다음부터 Scrubber까지는 대기압에 해당하는 압력을 유지한다. 경우에 따라서는 Scrubber에 설치된 Fan에 의해 대기압 근방에서의 진공(압력)을 유지하기도 한다. 본 논문에서 진공시스템이라 함은 공정 챔버부터 공정가스가 처리되는 Scrubber의 입력 단 까지를 의미한다.

Fig. 1과 같이 진공시스템을 구성할 때, 공정가스의 처리량은 동일한 펌프라도 진공 펌프와 공정 챔버를 연결해주는 배관(Foreline)의 길이와 직경, 공정 챔버 내부 압력의 함수로서 그 계산이 복잡하다. 최초 시스템을 설계할 때, 공정압력과 공정 가스 량 같은 공정조건, 공정 챔버와 진공펌프 사이의 거리(Foreline의 길이)와 같은 배관조건에 따라 적당한 용량의 진공 펌프가 선정된다. Fig. 2는 펌프 용량과 펌프가 처리할 수 있는 공정 가스 량을 나타낸

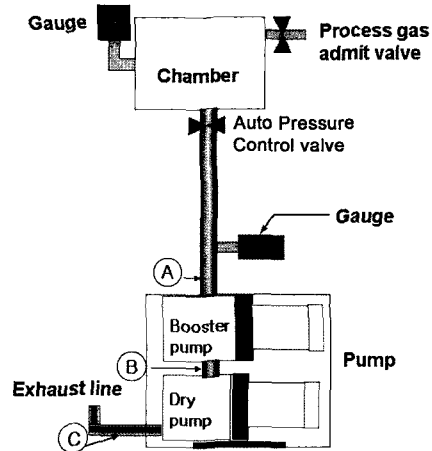


Fig. 1. General vacuum system used in semiconductor and FPD field.

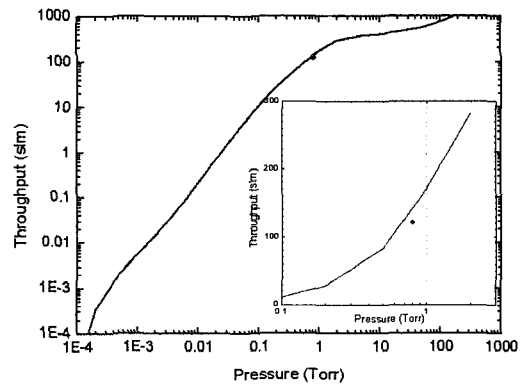


Fig. 2. Computer simulation result about the throughput of vacuum pump to decide the pumping capacity and process condition of PECVD tool for LCD manufacturing.

것으로 초기 진공 시스템의 설계 시 사용된다. 일반적으로 공정압력이 10 Torr 이하인 진공 영역에서는 펌프의 배기 능력을 향상시키기 위해서 건식 펌프(Dry Pump)와 함께 부스터 펌프(Booster Pump)를 조합한 방식을 사용한다.

Fig. 2와 같이 예상되는 공정 조건(점으로 표기)은 120 slm의 공정가스를 배기하면서 공정 챔버를 0.8 Torr로 유지하여야 한다. 이 조건을 만족하려면 Fig. 2처럼 Foreline의 영향을 고려한 진공 펌프의 P-Q(Pressure-Throughput) 좌표에서 공정조건이 P-Q 곡선 아래에 표시되어야 한다. 예를 들어, P-Q곡선(Fig. 2에 삽입된 작은 그래프)에서 120 slm의 가스가 공정 챔버로 유입될 때 챔버 압력은 0.6~0.7 Torr를 유지한다. 따라서 APC valve를 이용하여 요

구되는 공정 압력 0.8 Torr를 유지할 수 있기 때문에 이 진공 펌프를 이용하여 공정을 수행할 수 있다. 그러나 만일 P-Q 곡선(실선) 위쪽에 공정조건이 표시될 경우는 더 큰 용량의 진공 펌프가 필요하다.

실제 공정에서는 단일 가스가 공정 챔버내로 주입되는 것이 아니라 여러 가지 가스들이 주입되지만, 증착장비를 만드는 회사나, 장비를 운용하여 제품을 만드는 회사들은 자세한 공정 조건(사용되는 공정 가스의 종류 및 각 사용량)을 언급하지 않으므로서 일반적으로 안전 관점에서 진공시스템의 설계가 고려되지 않고 진공적인 측면(공정 수행가능 여부)만을 고려하여 진공 펌프의 용량이 선정되는 경우가 대부분이다.

3. 공정조건과 SiH₄의 LOC

공정압력이 0.8 Torr이고 총 120 slm의 공정 가스량 중에서 SiH₄ 양이 5 slm인 LCD(Liquid Crystal Display), PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 공정을 고려해 보면, 공정 챔버에서의 SiH₄ 농도는 약 4.17%로 LFL 값보다 높은 값을 나타낸다. 온도 같은 공정조건이 변화함에 따라 공정 챔버에서 배기되는 가스들의 농도 또한 변하게 된다. 문제는 공정가스들의 화학적 반응이 일어난 후 반응에 사용된 가스의 양과 반응에 의해 생성된 부산물들의 양을 정확히 알 수 없다는 것이다. 이런 상황에서 안전을 고려하기 위해서는 최악의 조건을 고려하여 모든 것을 예측할 수밖에 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 공정가스들 사이에 화학 반응이 일어나지 않는다는 가정 하에서 SiH₄의 농도를 계산하였다. 앞에서 가정한 공정조건인 가스들이 진공 펌프를 통해 배기되는 동안 진공 펌프에 공급되는 질소가스에 의해 SiH₄의 농도는 약 1.98%로 감소하지만, 이 값 역시 SiH₄의 LFL보다는 아직 높은 수치를 나타내고 있다. 이것은 안전을 위해 공정 챔버로부터 진공펌프 내부로 공급되는 질소가스 이외의 퍼지 가스가 필요하다는 것을 뜻한다.

LFL 값과 함께 자연발화에 있어서 중요한 값이 LOC(Limiting Oxygen Concentration) 또는 MOC(Minimum Oxygen Concentration)이다. 공정 챔버가 초기에 공기로 채워진 상태에서 배기가 된다고 가정할지라도 외부에서 유입되는 산소가 없다면 진공 펌프의 배기단에서 산소의 농도는 약 0.02%로 매우

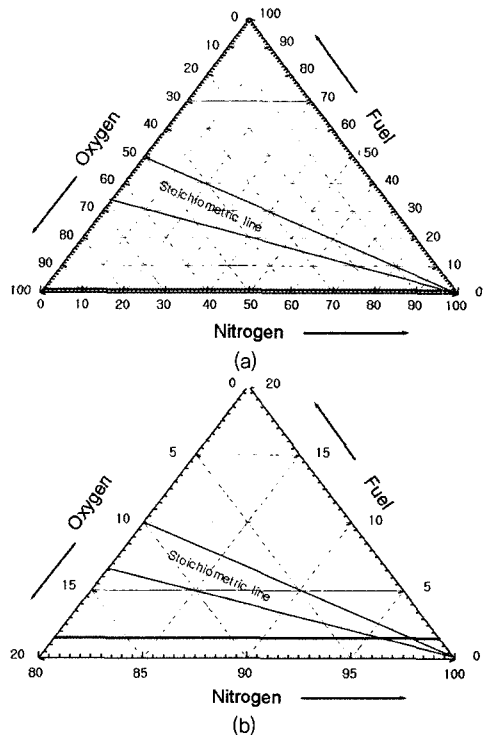


Fig. 3. Fire triangle for the LFL and LOC of SiH₄.

낮은 상태이다. 특히 SiH₄의 경우에서 LOC 값이 정확히 알려져 있지 않아 산소-연료-질소 3각 좌표를 이용하여 SiH₄의 LOC를 예측하여야 한다. Fig. 3(a)는 3각 좌표에서 SiH₄의 LFL과 화학양론(stoichiometric) 선을 표시하였으나 LFL의 값이 작아 구분이 되지 않으므로 Fig. 3(b)에 연료와 산소의 농도가 20% 이하인 영역만을 확대 도시하였다. LFL과 화학양론 선을 이용하여 예측된 SiH₄의 LOC는 약 1.5~3%이다^{11,12)}.

SiH₄의 LOC 값이 1.5%이고, 초기 배기 시 공정 챔버가 공기로 채워져 있었다고 가정할지라도 산소의 농도가 0.02%로 매우 낮기 때문에 진공시스템 외부의 공기가 진공시스템으로 유입되기 전에는 SiH₄에 의한 자연발화와 같은 사고는 이론적으로 발생하지 않는다.

실제 시스템에서는 공정가스들의 반응으로 인해 부산물이 형성되어 진공 펌프의 배기 능력 저하 또는 진공펌프 문제, 공정가스를 처리하는 Scrubber에 발생하는 문제 등으로 인해 진공시스템을 대기압 상태로 방출하여야 할 경우가 발생한다. SiH₄이 포함된 공정에서 발생하는 대부분의 사고는 진공시스템을 대기압 상태로 방출할 때 발생하는데, 이는 진

공시스템 밖에서 진공시스템 안으로 공기와 함께 산소가 유입되어 SiH₄의 LOC 값보다 높은 상태가 형성되어 SiH₄이 자연발화하기 때문이다. 따라서 SiH₄의 자연발화를 억제하기 위해서는 SiH₄의 농도를 LFL 이하로 낮추어야 한다.

4. 해결방안

SiH₄의 농도를 LFL 이하로 낮추기 위해서는 더 많은 양의 희석용 퍼지 가스를 진공시스템에 주입하여야 한다. 또한, 희석용 퍼지 가스를 주입할지라도 공정조건에 영향을 주어서는 안된다.

Fig. 4는 SiH₄ 가스의 농도를 LFL 이하로 낮추기 위해 희석용 퍼지 가스를 사용하지 않았을 경우(System S₁), 희석용 퍼지 가스를 사용하였을 경우(System S₂), 희석용 퍼지 가스를 사용하면서 동일 용량의 펌프를 추가했을 경우(System S₃)에 대해 공정챔버의 도달 진공도를 전산모사를 통해 얻은 결과이다. Fig. 4에 나타난 것처럼 희석용 퍼지 가스를 사용하지 않았을 경우는 공정 챔버의 진공을 0.7 Torr 이하로 유지할 수 있으나, 일반적으로 희석용 퍼지 가스를 유입하는 부스터 펌프의 입구 단에서 가스를 유입했을 경우(Fig. 1에서 A점에서 가스 유입), 공정 챔버의 진공은 약 1.45 Torr가 된다. 따라서 공정 챔버의 압력이 공정압력보다 높아지므로 SiH₄을 안전하게 희석하기 위해 퍼지 가스를 부스터 펌프 입구에 주입하면 공정을 수행할 수 없게 된다. 한편 배기 시스템에 진공 펌프를 추가하면 공정 챔버의 압력을 약 0.7 Torr로 유지할 수 있는데, 이 경우는 더 큰 용량의 진공 펌프가 필요하다.

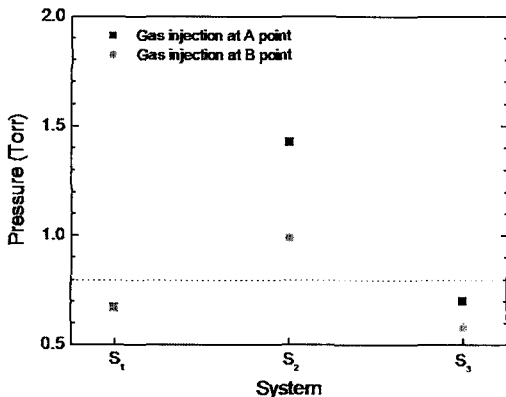


Fig. 4. Ultimate pressure of process chamber by the purge gas systems into vacuum system.

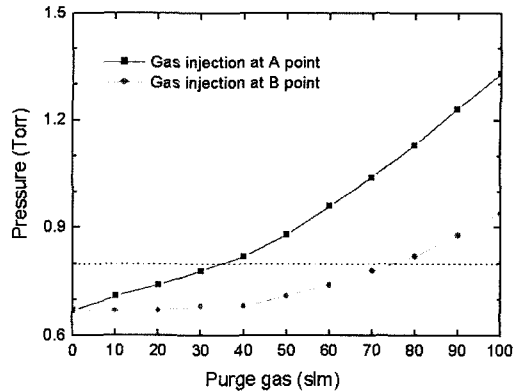


Fig. 5. Pressure change of process chamber according to the flow rate of purge gas for dilution.

반면에, Fig. 1의 B점(부스터 펌프와 드라이 펌프 사이)에 희석용 퍼지 가스를 주입하면 A점에 가스를 주입하는 것 보다 더 좋은 진공(더 낮은 압력)을 얻을 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 1의 A점과 B점에 각각 퍼지 가스를 주입하면서, 주입가스 양에 따른 공정챔버의 진공도 변화를 예측하기 위해 전산모사를 한 것이다. A점에서 약 30 slm 이하의 퍼지 가스를 주입할 경우는 공정 조건에 영향을 주지 않으나, B점에서 퍼지 가스를 주입할 경우에는 약 70 slm의 가스를 주입해도 공정에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 적당한 공정 조건의 변화를 통해 배기 시스템에 진공펌프를 추가하지 않고 공정 조건과 안전 조건(SiH₄의 농도를 LFL 이하로 낮추는 것)을 만족시킬 수 있는 여유가 있으며, B점에서 퍼지 가스를 주입할 경우 A점에 퍼지 가스를 주입할 경우 보다 안전함을 알 수 있었다.

5. 결론

SiH₄의 농도를 LFL 이하로 낮추어야 진공시스템에 외부공기가 유입되더라도 화재 또는 폭발과 같은 사고가 발생하지 않는다. 따라서 이와 같은 문제가 가장 많이 발생하는 진공펌프와 진공펌프 후단에서 SiH₄의 농도를 LFL 이하로 낮추기 위해서는 많은 희석용 퍼지 가스가 필요하다. 많은 양의 희석용 퍼지 가스에 의해 공정 챔버의 진공도에 영향을 주지 않기 위해 일반적으로 펌프 후단에 희석용 퍼지 가스를 주입하나, 이 경우 진공펌프의 내부는 SiH₄의 농도가 LFL 값보다 높아 진공펌프의 작업 시 화재가 발생하기도 한다. 본 연구에서는 부스터 펌프

와 드라이 펌프 사이에 희석용 퍼지 가스를 주입하여 이 문제를 해결하면서 공정 챔버의 진공도에 영향을 최소화 할 수 있음을 모의실험 결과를 통해 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) S. Raoux, D. Cheung, M. Fodor, W.N. Taylor, and K. Fairbairn, "Growth, trapping and abatement of dielectric particles in PECVD systems", *Plasma Source Sci. Technol.*, 6, 405, 1997.
- 2) R.G. Ridgeway, P.J. maroulis and R.V. Pearce, "Characterizing effluents from PECVD, plasma etch processes", *MICRO*, January, 45, 1997.
- 3) J.E.J. Schmitz, "Chemical Vapor Deposition of Tungsten and Tungsten Silicides for VLSI/ULSI Applications", Noyes Publications, 1992.
- 4) 주장현, "진공기술실무", 홍릉출판사, 2004.
- 5) H.D. Young & R.A. Freedman, "University Physics" 대학물리학교재편찬위원회 역, (주)북스힐, 2000.
- 6) 김효배, 주장현, "Vacuum Technology" 월간 반도체 FPD, 11월호, 2005.
- 7) D.R. Lide, Editor in chief, "Handbook of Chemistry and Physics", 85th ed., CRC Press, Boca Raton, 2004.
- 8) 이화학대사전 편찬위원회, "이화학대사전", 집문사, 1996.
- 9) MATERIAL SAFETY DATA SHEET.
- 10) Safetygram #26, AIR PRODUCTS.
- 11) M.G. Zabetakis, "Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors", U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, No627, 1965.
- 12) R.M. Stephenson, "Flash Points of Organic and Organometallic Compounds", Elsevier Science Publishing Co., 1987.