

반도체 제조용 CVD 및 Etcher장비의 탄소배출량과 에너지 소비량 모니터링

고동국* · 배성우** · 김광선*** · 임익태****†

*전북대학교 대학원 기계공학과, **전북대학교 대학원 기계설계공학과,
한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부, †* 전북대학교 공과대학 기계설계공학부

Monitoring of the Carbon Emission and Energy Consumption of CVD and Etcher for Semiconductor Manufacturing

Dong Guk Ko*, Sung Woo Bae**, Kwang Sun Kim*** and Ik-Tae Im****†

*Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Chonbuk National University

**Department of Mechanical Design Engineering, Graduate School, Chonbuk National University

***Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

†****Department of Mechanical Design Engineering, College of Engineering, Chonbuk National University

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a system that can monitor the amounts of energy consumption during CVD and etching process for semiconductor manufacturing. Specifically, this system is designed to measure the CO₂ emission amounts quantitatively by measuring the flow rate of gas used and amount of power consumed during the processes. The processes of CVD equipment can be classified generally into processing step and cleaning step and all the two steps were monitored. In CVD and etcher equipments, various gases including Ar and O₂ are used, but Ar, O₂ and He were monitored with the use of the LCI data of Korea Environmental Industry & Technology Institute and carbon emission coefficients of EcoInvent. As a result, it was found that the carbon emission amounts of CVD equipment for Ar, O₂ and He were 0.030 kgCO₂/min, 4.580 × 10⁻³ kgCO₂/min and 6.817 × 10⁻⁴ kgCO₂/min, respectively and those of etcher equipment for Ar and O₂ are 5.111 × 10⁻³ kgCO₂/min and 7.172 kgCO₂/min, respectively.

Key Words : Energy consumption monitoring, Carbon emission, CVD, Etcher, CO₂, Carbon emission factor

1. 서 론

현재 각 국가에서는 온실가스 목표관리제, 온실가스 배출권 거래 등과 같은 환경 관련 법규를 시행하고 있으며, 이에 따라 반도체장비에서 발생하는 CO₂ 배출량을 저감시키고자 하는 연구가 지속적으로 진행 중이다[1,2].

반도체 산업에서는 반도체 제조과정 시 SEMI, ISO 등의 다양한 산업표준을 적용하고 있다. 그러나 이러한 표준은 제품의 생산성과 제품간의 호환성에 중점을 두고 있어 에너지 소비량이나 공정과정 중 발생하는

CO₂ 배출과 같은 환경적인 부분을 반영하지 못하고 있다. 반도체 분야에서 널리 활용되고 있는 SEMI 표준 안의 에너지 소비량에 대한 내용은 기술하고 있지만[3] CO₂ 배출량에 대한 내용은 포함하고 있지 않다. SEMI S23의 가이드라인[4]을 적용하여 실제 공정과정 동안의 장비의 CO₂배출량과 에너지 소비량을 현장에서 정량적으로 계산하는 것은 쉽지 않다.

따라서, 본 연구의 목적은 CVD 및 Etcher공정장비를 구동하는데 사용된 에너지 소비량과 공정과정 중 배출되는 CO₂량을 정량화하고 가시화할 수 있는 모니터링 시스템을 개발하여 이를 제조과정에 적용하는데 있다. 이렇게 모니터링한 결과는 에너지 소비량과 CO₂

†E-mail : itim@jbnu.ac.kr

배출량을 감축하는데 활용될 수 있을 것이다.

2. 모니터링 시스템

Fig. 1은 CVD 및 Etcher공정장비의 에너지 소비량과 CO₂ 배출량을 측정하기 위한 구성장치를 개략하여 나타낸 것이다. 이 실험장치에는 각각의 공정과정 중 소비되는 에너지 및 가스량을 측정하기 위해 전력량계(Gimac-I, LS산전)와 MFC(Mass flow controller)가 설치되어 있으며, 유입되는 가스의 유량에 의해 변화하는 온도와 압력을 측정하기 위해 열전대(Thermal couple(K type))와 압력계를 반응기에 부착하였다. 열전대는 CVD장비의 입구와 출구에 설치되어 있으며, 실험장치로 유입되는 가스는 출구에서 대기압 상태로 유지되므로 압력계는 단지 입구에만 설치하였다.

열전대와 압력계를 이용하여 얻은 온도와 압력 값은 데이터 수집장치(Agilent 34972A)를 통해 컴퓨터에 저장되도록 하였다.

CVD장비에 설치된 MFC는 가스 유량에 따라 0~5 V의 아날로그 출력 전압을 발생시키며, 발생된 출력전압 신호는 데이터 수집장치(NI cDAQ-9174, National Instrument)를 통해 컴퓨터로 전송된다. 장비의 전원부 앞부분에 설치된 전력계는 공정과정 동안 에너지 소비량을 체크하기 위해 소비된 전력량을 측정한다.

Fig. 2에 에너지 소비량을 모니터링하기 위해 개발된 소프트웨어 화면의 한 예를 나타내었다. LabView[5] 프로그램을 이용하여 만들어진 이 프로그램은 공정장비 안으로 유입되는 가스의 유량과 소비전력에 대한 정보를 제공하며, 가스 유량변화에 따른 CO₂ 배출량을 표시해준다. 이 소프트웨어를 통해 탄소배출량을 실시간으로 확인할 수 있다.

모니터링 시스템에서는 공정가스의 유량데이터를 수집하기 위해서는 USB통신방식을 사용하였으며 장비에 의해 소비된 에너지량 측정에는 RS485 Modbus 통



Fig. 1. Schematics of the experiment set-up for monitoring the energy and process gases consumption.

신방식을 통해 전력계의 데이터를 수집하였다.

수집된 데이터의 타당성을 검토하고 프로그램의 안정적인 운영을 확보하기 위해, 소프트웨어를 포함해 본 연구에서 개발된 시스템을 현장에 설치하기 전에 실험실에서 테스트하였다. 테스트는 미리 설정된 값의 질소 가스를 흘려 보내면서 개발된 모니터링 시스템을 통해 측정하여 측정유량을 초기 설정된 값과 비교 분석하였다. 측정된 데이터 값을 분석한 결과 초기 설정 값과 거의 일치하는 값을 나타내었으며, 이를 통해 에너지 모니터링 시스템을 활용하여 측정 및 계산된 에너지 소비량과 CO₂ 배출량의 결과가 타당함을 알 수 있다.

3. 결과 및 분석

앞에서 언급한 바와 같이 CVD 및 에칭 과정 동안의 에너지 소비량 및 CO₂ 배출량을 본 연구에서 개발한 모니터링 시스템을 이용하여 측정하였다. CO₂ 배출량은 측정된 가스의 유량데이터와 탄소 배출계수를 활용하여 계산하였다.

측정과정 동안 발생할 수 있는 잡음(Noise)을 제거하기 위해 MFC 최대 유량의 $\pm 1\%$ 사이의 값은 필터링 하였으며 장비 내로 유입되는 평균 가스유량은 필터링을 거친 누적유량 값을 총 공정시간으로 나누어 계산하였다. CVD 및 Etching 장비에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 계산하기 위해 국가 LCI 데이터베이스[6]와 EcoInvent사 데이터베이스[7]의 변환인자(Conversion factor)를 활용하였다.

3.1. CVD 공정

여기서 고려한 CVD공정은 프로세스 공정과 클리닝 단계로 이루어져 있다. 여러 가지 일련의 제조과정 중 데이터를 측정하기 위해 하나의 표본공정을 선정하였다. 선정된 표본공정 과정 동안 사용된 가스는 Ar, O₂,

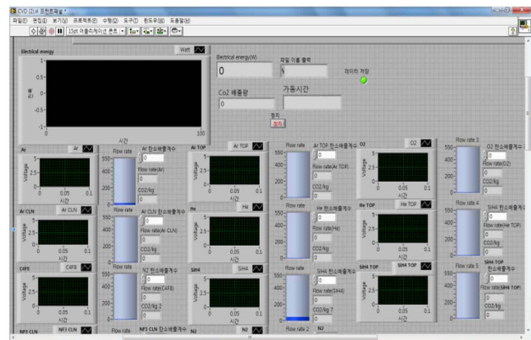


Fig. 2. Sample image of the developed monitoring program.

Table 1. Process gases used in this study and their carbon emission factor

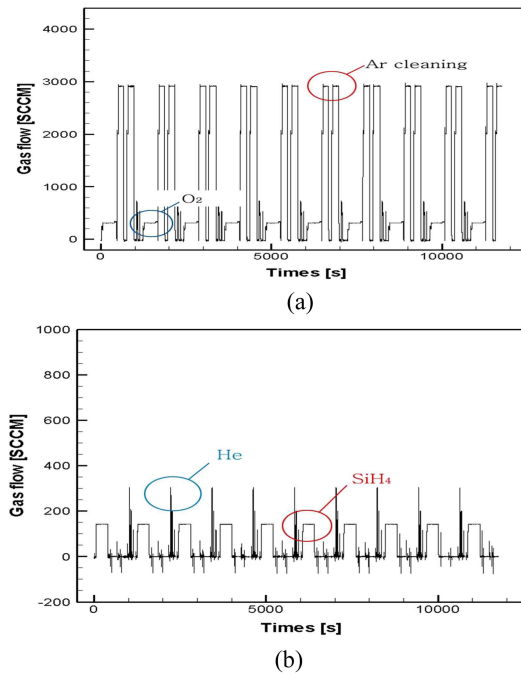
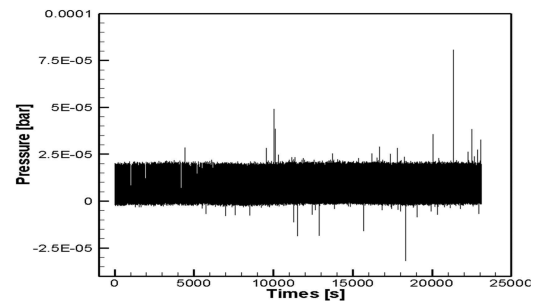
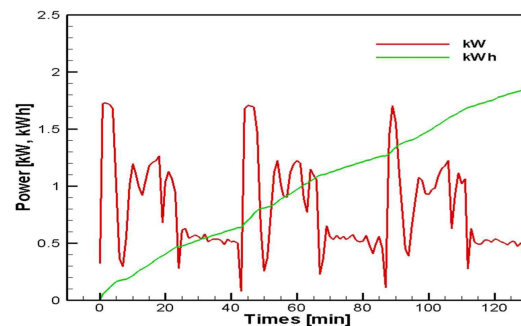
Step	Gas	Flow rate (sccm)	Carbon emission factor(kgCO ₂ /kg)
Process	Ar	160~600	0.2736
	Ar Top	30~50	
	O ₂	180~330	0.4970
Cleaning	Ar	250~600	0.2736
	Ar CLN	500~2900	9.503
	He	100~300	
	He Top	60~300	0.4970
	O ₂	220~300	

SiH₄ 세 가지이며, Ar과 SiH₄가스는 장비의 주 유입구와 헤드 입구포트 양쪽으로 공급된다. CVD공정의 클리닝 단계에서 공급되는 가스는 Ar, NF₃, He, SiH₄ 및 O₂등이며, Ar, He 및 SiH₄가스는 장비의 주유입구와 헤드 입구 등 두 곳을 통해 유입된다. 헤드 입구를 통해 공급되는 가스는 다른 가스와 구별하기 위해 ‘Top’으로 표기하였다. 그리고, 클리닝 과정 동안 공급된 Ar 가스는 공정단계의 Ar가스와 구별하기 위해 ‘Ar CLN’으로 나타내었다. Table 1에 모니터링 대상 가스의 유량범위와 탄소 배출계수를 나타내었다.

Fig. 3 (a), (b)는 CVD장비내의 Ar CLN, O₂, He 및 SiH₄가스의 유량을 나타낸 것이다. 측정 결과CVD장비의 한 사이클인 1087.70 s의 공정주기 동안 Ar CLN과 Ar TOP의 평균 유량은 각각 56489.76 sccm/min과 678.12 sccm/min으로 나타났으며, 결과적으로 한 사이클의 CVD 공정과정 동안 Ar과 O₂의 평균 유량은 각각 4873.02 sccm/min과 7176.84 sccm/min으로 측정되었다. 이와 유사하게 He과 He Top의 평균 유량은 각각 304.98 sccm/min, 136.5 sccm/min으로 나타났다. Table 1의 탄소 배출계수를 적용할 경우 Ar, O₂ 및 He의 CO₂배출량은 각각 0.030 kgCO₂/min, 4.580 × 10⁻³ kgCO₂/min, 6.817 × 10⁻⁴ kgCO₂/min으로 나타났다.

Fig. 4는 공정시간에 따른 반응기 입구에서의 압력의 변화를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 공정 동안 압력은 일부 노이즈를 제외하면 2.5 × 10⁻⁵ bar이하로 유지되고 있으며 이는 테스트 장비가 안정적으로 작동되고 있다는 것을 의미한다.

Fig. 5는 CVD공정과정의 한 사이클 중 일부 구간 동안의 전력 소비량 측정결과를 나타낸다. 측정이 이루어진 시간은 약 42.3 min이며 측정기간 동안 장비의 총 누적 전력량과 평균 유효전력은 각각 1.84 kWh, 0.8 kWh

**Fig. 3.** Measured flow rates of some selected gases such as (a) Ar CLN, O₂ and (b) He and SiH₄ during CVD process.**Fig. 4.** Measured pressure at the inlet of the CVD reactor.**Fig. 5.** Instantaneous and accumulated electrical power consumption of the CVD equipment.

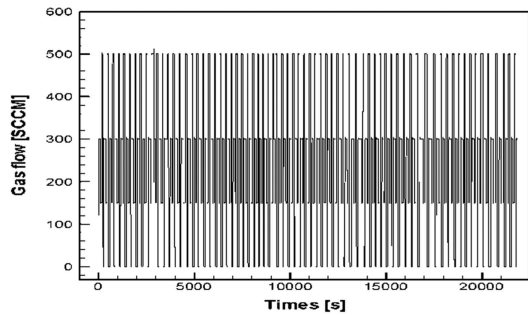


Fig. 6. Measured Ar gas flow rate during etching process.

이었다. 우리나라의 전력에 대해 평균 0.495 kg/kWh의 탄소배출계수를 적용할 경우 측정 시간 동안 0.91 kg의 CO₂가 배출됨을 알 수 있다.

3.2. 에칭 공정

에칭공정에 대한 탄소배출량 모니터링을 위해 소비량을 측정된 가스는 Ar, O₂, C₄F₈, CF₄ 및 CHF₃ 등 총 5가지이다. 에칭 공정에 사용되는 가스의 유량은 짧은 공정시간 동안에 매우 크게 유량이 변한다.

Fig. 6은 에처로 유입되는 Ar가스의 유량을 나타낸 것이다. 측정 시간 동안 Ar과 O₂의 평균 유량은 각각 2864.69 sccm/min과 55.86 sccm/min으로 나타났다. Table 1에 나타낸 탄소배출계수를 사용하여 CO₂배출량을 계산하면 Ar과 O₂의 CO₂배출량은 각각 5.111×10^{-3} kgCO₂/min, 7.172×10^{-5} kgCO₂로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 에너지 소비량과 CO₂배출량을 모니터링할 수 있는 시스템을 개발하였으며 이 모니터링 시스템을 반도체 제조과정의 CVD 및 에칭 장비에 적용하여 공정가스 사용량과 에너지 사용량을 측정하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

CVD 장비의 경우 측정된 공정조건 하에서 사용된 Ar, He과 O₂가스의 CO₂배출량은 각각 0.030 kgCO₂/min,

4.580×10^{-3} kgCO₂/min, 그리고 6.817×10^{-4} kgCO₂/min으로 나타났다. 이러한 상태를 지속적으로 유지한 채 공정장비를 운영한다고 가정할 경우, 공정가스를 통해 발생하는 연간 탄소배출량은 각각 15 768 kgCO₂/year, 2 409 kgCO₂/year, 그리고 329 kgCO₂/year로 계산된다. 이 결과를 통해 볼 때 세 종류의 가스 중 Ar가스가 가장 많은 CO₂를 배출한다는 것을 알 수 있다.

에처의 경우 Ar과 O₂의 사용에 의해 연간 2 686 kgCO₂/year와 3 769 603 kgCO₂/year 정도의 CO₂를 배출한다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Ko, Seung Jong, KSIA Activities in WSC ESH TF, Global GHG Regulatory & Technology Trend Seminar, Feb. 7. 2012, Conference Center COEX, Seoul Korea, pp.5-16, 2012.
2. Lee, Min Young, The Greenhouse Gas Reduction Policy in Korea, Global GHG Regulatory & Technology Trend Seminar, Feb. 7. 2012, Conference Center COEX, Seoul Korea, pp. 17-32, 2012.
3. SEMI S23-0708, Guide for Conservation of Energy, Utilities and Materials used by Semiconductor Manufacturing Equipment, SEMI, 2008.
4. SEMI S23 Application Guide and Total Equivalent Energy (TEE) CalcII User's Guide, Technology Transfer #06094783D-ENG, Oct. 29. 2010, International SEMATECH Manufacturing Initiative, 2010.
5. LabView is a name of the product of National Instrument Corporation, 11500 N Mopac Expwy Austin, TX 78759-3504, 2010.
6. National LCI database network by Korea Environmental Industry & Technology Institute, http://edp.or.kr/lcidb/about/about_tinfo.asp.
7. Ecoinvent, Swiss Center for Life Cycle Inventories, ESU-services, ifu Hamburg GmbH, 2000.

접수일: 2013년 8월 21일, 심사일: 2013년 9월 5일,
2차심사일: 2013년 9월 13일, 게재확정일: 2013년 9월 23일