

**최적 반복 학습제어기법을 이용한
산업용 RTP 장치 웨이퍼 온도의 다변수 제어**

조문기^{***}, 원승희, 주상래^{**}, 진인식, 양대륙^{*}, 이광순
서강대학교 화학공학과, 고려대학교 화학공학과^{*}
코닉 시스템 주식회사^{**}
콘웰 주식회사^{***}

**Multivariable Control of Wafer Temperature in a
Commercial RTP Equipment
using an Optimal Iterative Learning Control**

Moon Ki Cho^{***}, Sangrae Joo^{**}, Seung H. Won, In Sik Chin, Kwang S. Lee, Dae R. Yang^{*}
Department of Chem. Eng., Sogang University, Seoul, Korea
Department of Chem. Eng., Korea University, Seoul, Korea^{*}
Kornic Systems Corporation, Suwon, Korea^{**}
Conwell Corporation, Seoul, Korea^{***}

서론

웨이퍼의 열처리 위한 RTP 장비의 경우 생산제품의 수율과 품질을 위해 웨이퍼 표면 전반에 걸쳐 균일한 온도분포를 유지하면서 주어진 기준 온도를 추종하는 정교한 제어가 필수 불가결하다. 또한 웨이퍼의 사이즈가 6inch에서 8inch, 그리고 12inch로 대구경화 되면서 발생하는 표면 온도의 불균일성은 슬립, 워핑 등의 원인이 되어 생산수율 및 생산성을 감소시킨다. 현재 산업용 장비의 경우 다중 루프 PID가 주로 사용되지만 강한 상호 간섭성 때문에 성능에 문제를 유발시킬 뿐 아니라 조율을 포함하여 적용이 용이치 못하여 장비를 안정화 시키는데 많은 시간과 인력을 소모하고 있다. 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 시변 상태 공간 모델에 근거한 다변수 최적 반복 학습 제어기법을 제안하였으며 대상공정에 적절한 PRBS(Pseudo Random Binary Sequence)를 생성하여 모델 인식을 위한 입출력 데이터를 취득 하였다. 모델 인식 방법으로는 부공간법(Subspace ID, N4SID)을 사용하였으며 이를 근간으로 제어기를 설계하여 산업용 RTP 장비(KORONA 600, 820)에 적용하여 매우 우수한 성능을 보였다.

이론

지면 관계상 제어 이론 및 알고리즘에 관한 내용은 참고문헌 "1"을 참고 하시오

제어 입력 계산

목적 함수는 예측 오차를 최소화 하면서 입력 변화를 조절할 수 있도록 가중 요소를 포함한다.

$$\min_{V_{k+1}(t)} \left[J_k = \bar{e}_k^T(t+m/t) Q \bar{e}_k(t+m/t) + V_{k+1}^{mT}(t) R V_{k+1}^m(t) \right] \quad (16)$$

제약 조건이 있는 경우는 QP(Quadratic Programing)을 이용하여 해를 얻을 수 있으며 없는 경우의 해는 다음과 같다.

$$V_k^m(t) = (G^{mT} Q G^m + R)^{-1} G^{mT} Q e(t/t) \quad (17)$$

모델 인식

PRBS 입력을 통한 출력 데이터를 적절한 Detrending 방법을 통해 선 처리 후 부 공간 인식방법(N4SID)을 사용하였다.

실 험

실험장치

본 연구에 사용된 상업용 RTP 장비(KORONA series)는 6inch, 8inch의 웨이퍼를 열처리 하는 장치로 그림 1.과 같다. 열원으로 사용되는 텅스텐-할로겐 램프는 36(횡:18, 종:18)개로 개별 2Kw-max 용량이다. 이들 램프는 몇 개의 그룹으로 묶여져 power control을 케이스 케이드로 수행한다. 온도 센서는 K타입의 열전대와 pyrometer를 각각 분리하여 사용하였다.



그림 1. 상업용 RTP 장치 외형도(KORONA 820)

제어 시스템 구성

본 연구의 실험을 위한 신호 흐름 도를 그림 2와 같이 구성 하였다. 공정 입출력을 위해 기존 장비에 사용된 PID제어용 DSP 보드를 I/O 보드로만 이용하였고, 모든 제어 계산은 Windows 2000 하에 C++로 개발된 자체 프로그램을 이용하였다. 프로세스 특성 및 계산시간을 고려하여 샘플링 타임은 0.5초로 설정 하였다.

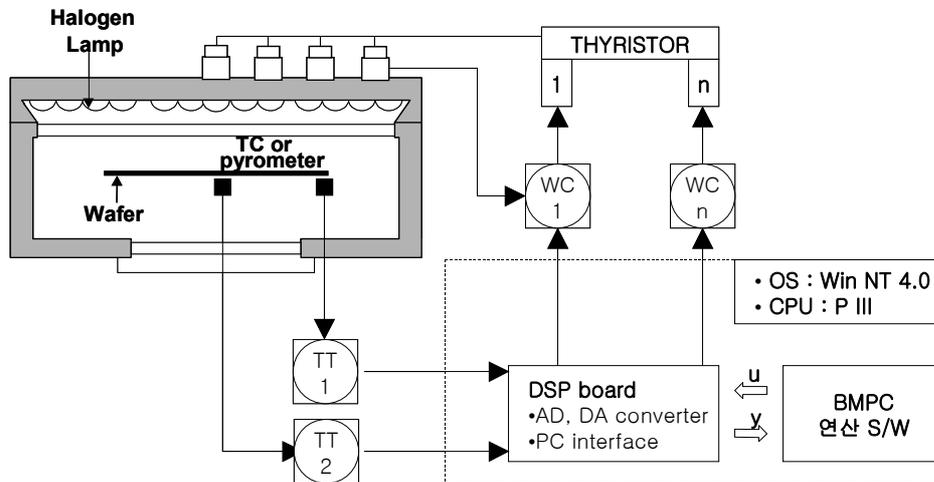


그림 2. 제어 시스템 구성도.

결 론

라인의 양산용 RTP 장비에서 웨이퍼의 균일한 표면 온도 제어를 대상으로 제안된 최적 반복 학습 제어를 수행하였다. 선형 시변 상태 공간 모델을 얻기 위한 인식 방법이 제안 되었고 그 적용 결과는 만족 할만한 제어 성능을 보였다. 이 결과는 최근 까지 라인 안정화 및 레시피 추가 시 소모된 인적, 물적 자원을 최소화 시킬 뿐 아니라 수율 향상에 지대한 역할을 하리라 사료된다. 향후 유사한 반도체 양산용 장비에 적용하기 위해서는 장비와의 인터페이스 및 레시피 관리용 소프트웨어, 최적화된 math library의 개발이 진행 되어야 한다.

참고 문헌

1. Kwang Soon Lee, Jay H. Lee, In Sik Chin, and Hyouk Joon Lee, "A Model Predictive Control Technique Combined with Iterative Learning for Batch Processes", AICHE Journal, 45, No.10, 2175.1999.
2. 이 광순, 김원철, 이재형, "선형 회분식 공정을 위한 이차 성능 지수에 의한 모델 기반 반복 학습 제어", 제어 자동화 시스템 논문지, 2권, 3호, pp. 148-157, 1996
3. K. S. Lee, W. C. Kim and Jay H. Lee, "Model based Iterative Learning Control with Quadratic Criterion for Time-varying Linear Systems", Submitted to Automatica, 1997
4. K. S. Lee, I. S. Chin and Jay H. Lee, "A Model based Predictive Control for Combined Iterative Learning and Real-times Feedback Control of Batch Processes", Submitted to IEEE Trans. on Automatic Control, 1997

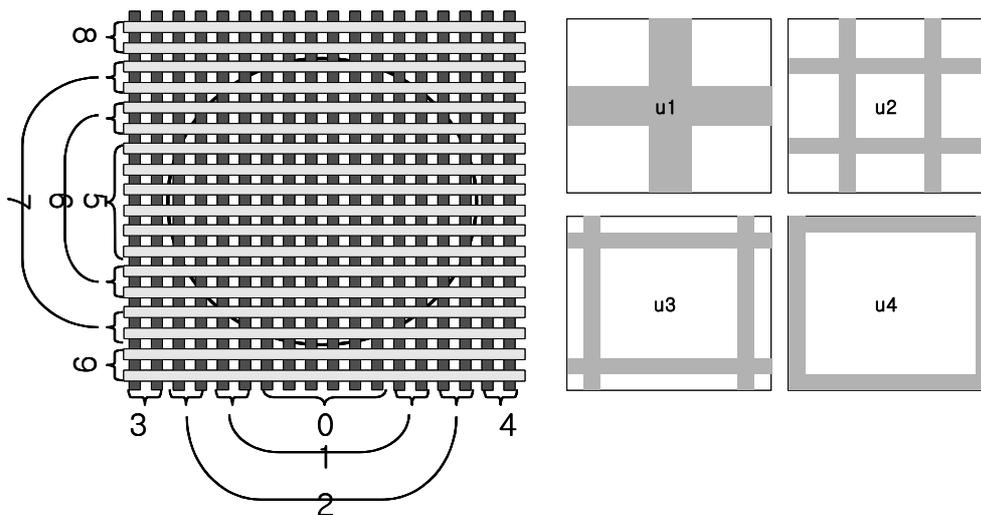


그림 3. 실험 장치의 램프 그룹 구성도

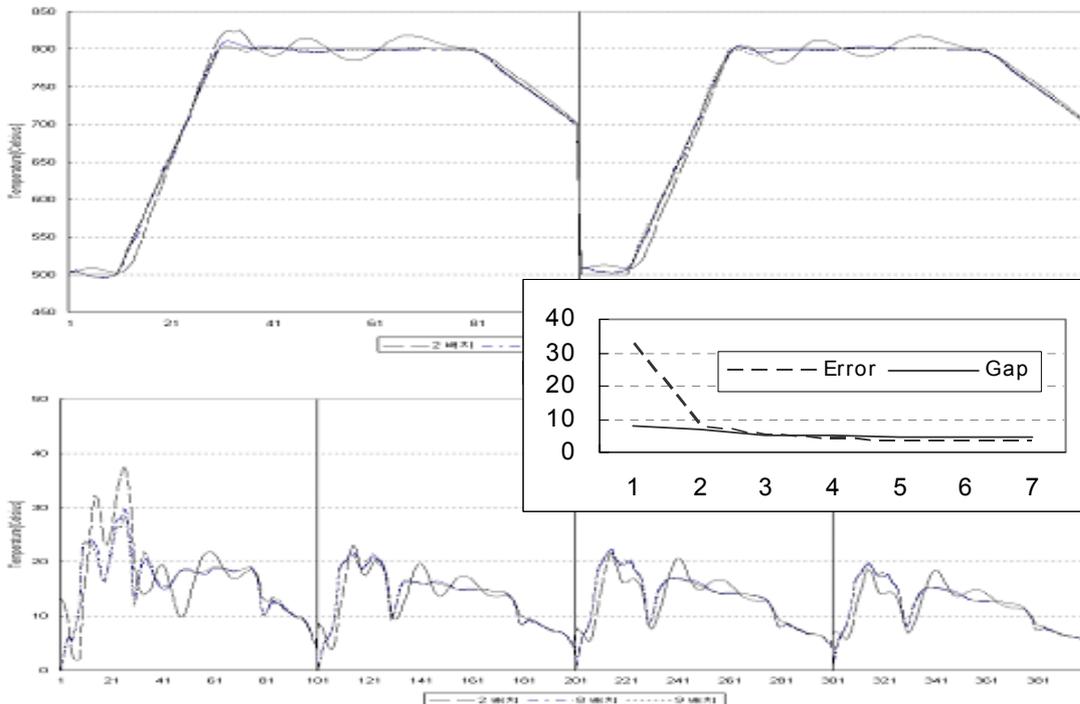


그림 4. pyrometer 온도 센서를 이용한 4 Inputs 2 Outputs 운전 결과.

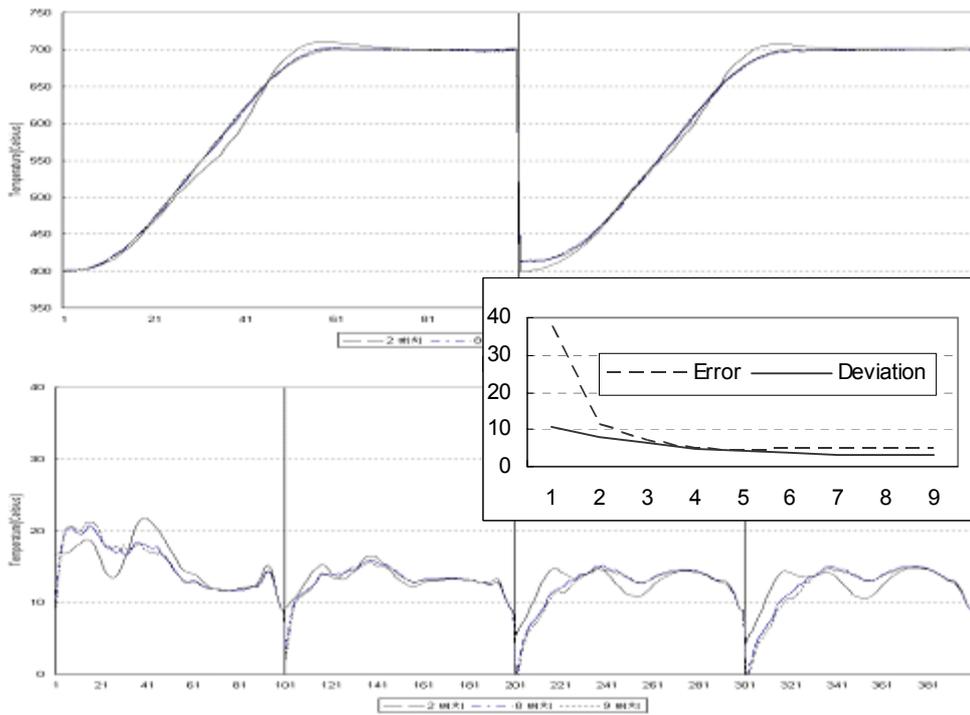


그림 5. 열전대 온도 센서를 이용한 4 Inputs 2 Outputs 운전 결과.

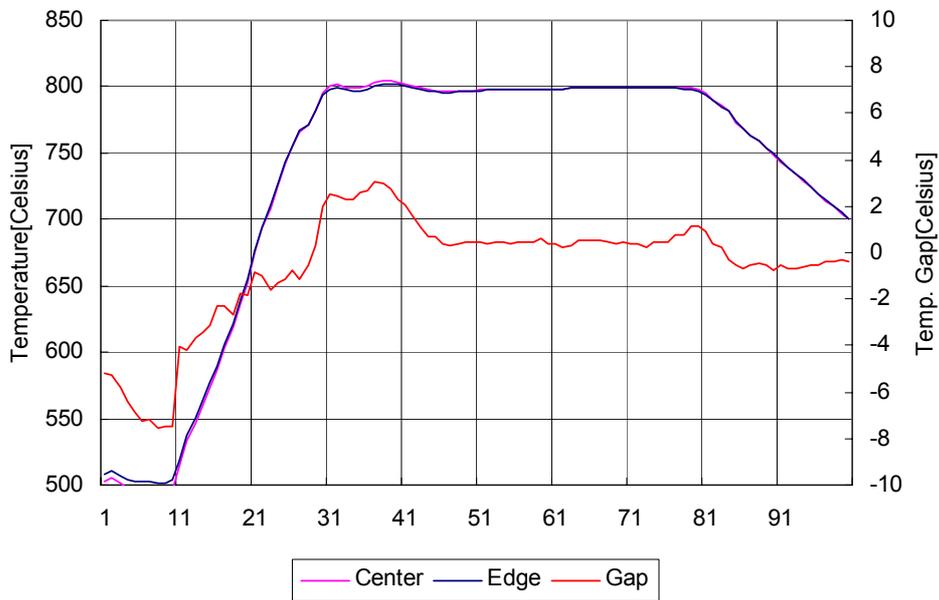


그림 6. Temperature gap between wafer center to edge