

TRUMPF



백서

VCSEL 기술을 기반으로 한 9.6kW 웨이퍼
가열 시스템

차례

웨이퍼 가열의 과제	4
VCSEL 가열 시스템의 애플리케이션 설치	4
웨이퍼 가열의 VCSEL 솔루션	5
웨이퍼 가열 실험 장치	6
실리콘 웨이퍼 가열	7
결론	8

문의 사항을 위한 연락처

TRUMPF Photonic Components GmbH
Lise-Meitner-Straße 13
89081 Ulm

독일

전화: +49 731 5501940

E-Mail: photonic.components@trumpf.com

개요

이 백서는 분산형이지만 뾰뾰하게 채워진 고출력 VCSEL 방출기를 사용하여 균질한 대규모 영역 가열의 가능성을 보여줍니다.

애플리케이션 예는 Ø 300mm 실리콘 웨이퍼와 대규모 열 처리를 위한 9.6kW VCSEL 가열 시스템으로, 실리콘 웨이퍼의 고속 열 처리(RTP)에 VCSEL 가열 모듈을 사용할 경우의 이점에 대해 설명합니다. 백서 내에는 애플리케이션 결과와 그에 따른 설명이 나와 있습니다. 또한 옵티컬 시뮬레이션은 고객 요구 사항을 충족하기 위한 추가 가능성과 잠재적 시스템 적응을 위한 영감을 강조합니다.

웨이퍼 가열의 과제

반도체 소자를 생산하려면 웨이퍼가 단일 다이로 절단되기 전에 웨이퍼 레벨에 따라 다양한 생산 단계가 필요합니다.

웨이퍼 가공 시, 균질성이 매우 좋은 1000 °C까지의 온도 레벨이 필요합니다.

원하는 결과에 도달하려면 웨이퍼를 매우 빠르게 가열해야 하는 경우가 많습니다.

뿐만 아니라 VCSEL 가열 시스템을 통해 제조 과정 중 많은 시간을 절약할 수 있고 부작용도 적게 발생해 산량이 높아집니다.



사진 1:
TRUMPF의
Ulm에 있는
VCSEL을 제조
클린룸 시설

VCSEL 가열 시스템의 애플리케이션 설치

Aachen에 있는 TRUMPF Photonic Components의 연결 기술 센터에는 다양한 애플리케이션 테스트를 위한 소형 안전 레이저 장치가 설치되어 있습니다. 이 장치에는 IR-카메라, 옵티컬 카메라, 고온계, 열전지 및 고속 라이너 축이 장착되어 있습니다.

작업물과 VCSEL 가열 모듈을 신속적으로 장착할 수 있어 다양한 애플리케이션 요구를 해결할 수 있습니다.

고객과 함께 타당성 테스트를 진행할 수 있으며,

고객은 고출력 VCSEL 모듈을 현장에서 체험할 수 있습니다.

2.4~9.6kW의 모든 표준 모듈을 테스트할 수 있습니다. 특수 모듈은 요청에 따라 테스트할 수 있습니다.

아래에서 설명하게 될 웨이퍼 가열의 애플리케이션에 대해, 전용 9.6kW 가열 모듈을 설정하였습니다.



사진 2:
Aachen 연결 기술
센터의 장치
냉각 유닛,
드라이버 유닛 및
제어 PC가 있는
레이저실

The VCSEL 웨이퍼 가열 솔루션

첫 번째 단계로 웨이퍼의 균질한 조사를 달성하고 표준 VCSEL 방출기의 분포를 최적화하기 위해 옵티컬 시뮬레이션이 수행되었습니다(사진 4 참조). 분석 결과 24개의 표준 방출기와 미러 튜브(사진 3 참조)만 사용하면 웨이퍼 레벨에서 완벽한 균질성에도달할 수 있는 것으로 나타났습니다. 가열 속도와 작업 거리는 사용되는 방출기 수에 따라 제어될 수 있으므로 시스템 성능과 비용을 최적화할 수 있습니다.

이러한 시뮬레이션 결과에 따라 두 번째 단계에서 9.6kw의 웨이퍼 가열 시스템을 구축했습니다(사진 5, 미러 튜브가 없는 모듈). 첫 번째 테스트는 베어 실리콘 웨이퍼로 수행되었습니다.

웨이퍼 히터는 최대 75.2kW까지 확장할 수 있어 가열 속도를 8배 이상 높일 수 있습니다.

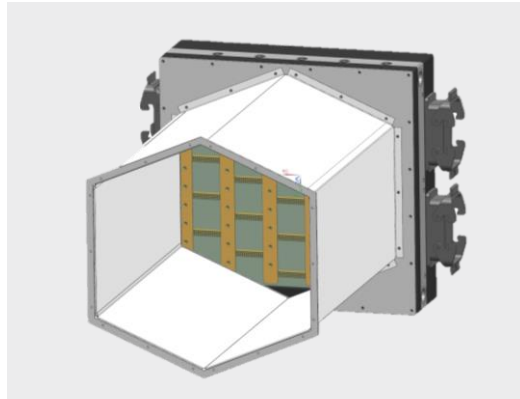
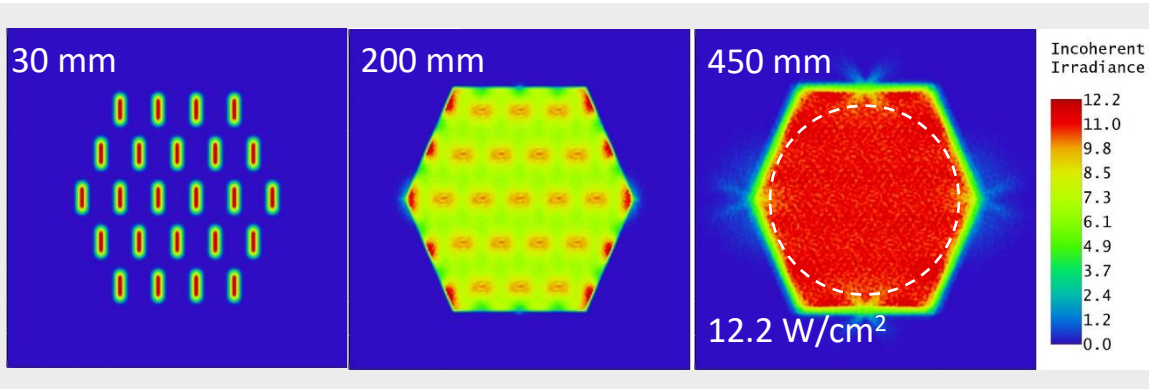


사진 3:

특히 배열된 방출기가 있는 웨이퍼 히터 레이아웃.



사

다양한 작업 거리에서 외부 미러를 사용한 옵티컬 시뮬레이션: 30 / 200 / 450 mm. 점선 원은 300mm 웨이퍼를 나타냅니다.

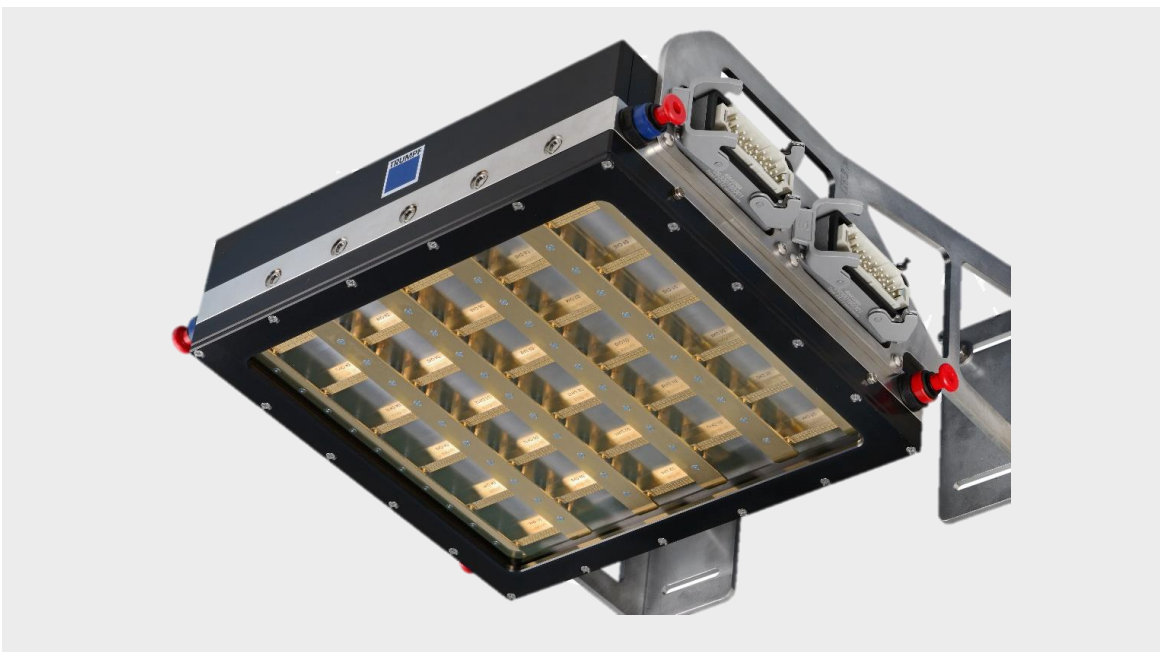


사진 5:

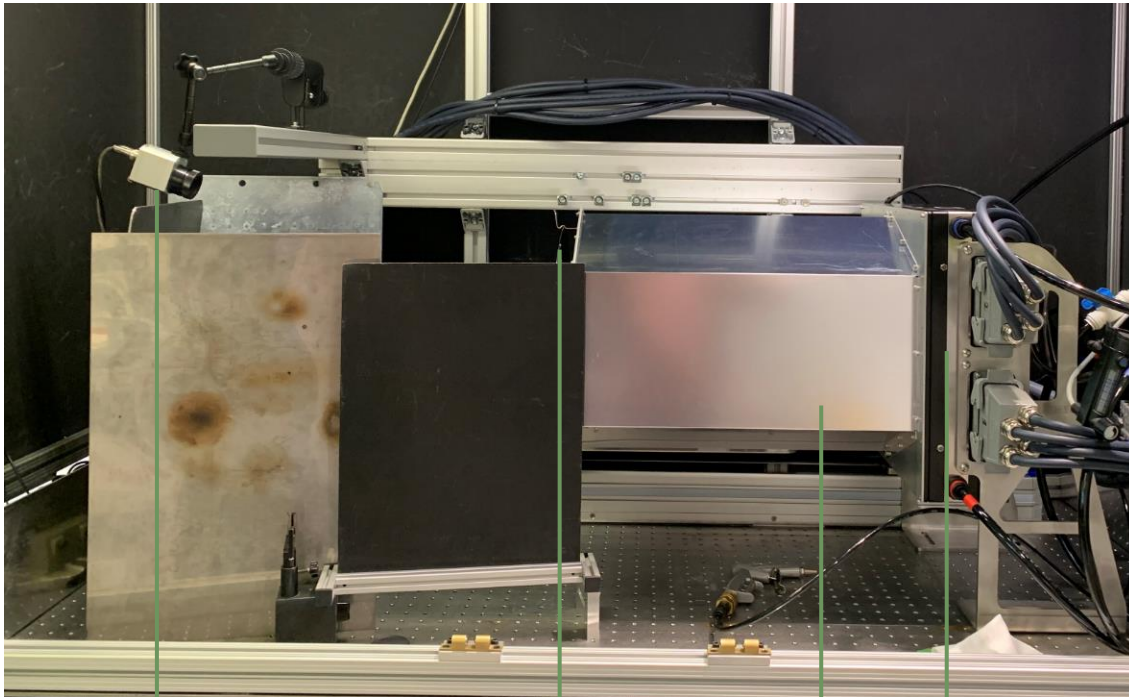
9.6kw 웨이퍼 히터 VCSEL 가열 시스템

웨이퍼 가열 실험 장치

Aachen의 연결 기술 센터에서 9.6kW 웨이퍼 히터를 설치했습니다(사진 6 및 7 참조).

첫 번째 테스트는 Ø 300mm 블랙 코팅 스테인리스 스틸 더미 웨이퍼와 Ø 300mm 베어 실리콘 웨이퍼를 사용하여 실행되었으며, 웨이퍼를 열전도율이 낮은 홀더를 사용하여 세 지점에 장착했습니다.

모든 실험은 정상적인 대기압에서 수행되었습니다. 가열 과정의 온도와 균질성이 IR카메라에 기록되었습니다. 카메라의 복사율 설정은 베어 실리콘으로 또는 블랙 스틸 코팅용으로 보정되었습니다.



IR 카메라

실리콘웨이퍼
(검정색으로 코팅됨)

VCSEL 모듈

미러 튜브

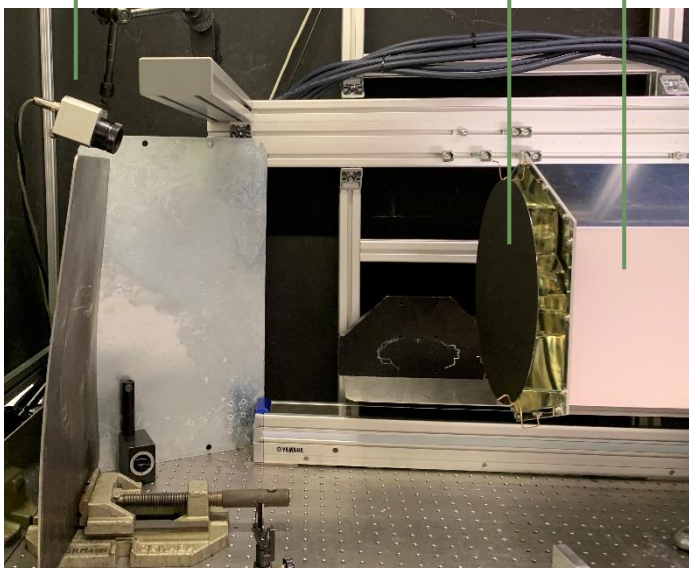


사진 6:

레이저실 개요
VCSEL 모듈
앞에는 길이가
450mm인 육각
미러 튜브를 볼 수
있습니다.

사진 7:

Ø 300mm 웨이퍼
설치 정확한 온도
측정이
가능하도록
웨이퍼 뒷면은
검은색으로
코팅되어
있습니다.

실리콘 웨이퍼 가열

시뮬레이션된 9.6 kW 대신, 실리콘웨이퍼는 9.12 kW의 적외선 전력으로 조사되었습니다. VCSEL 가열 모듈의 레이저 전력 분포를 약간 조정한 결과 실리콘 웨이퍼 온도의 균질성이 개선되었습니다. 웨이퍼 바닥에서 상단으로의 뜨거운 공기 흐름으로 인한 손실을 보상하고 중간과 양쪽을 방지하기 위해 전력 분배가 필요합니다.

낮은 온도(25 - 230 °C)에서 가열 속도는 51 K/s였으며, 625 °C에서는 뜨거운 웨이퍼가 방출하는 대류 및 장파장 방사선으로 인해 가열 속도가 16 K/s로 감소했습니다.

수직으로 장착된 웨이퍼의 공기 중 평균 가열 속도는 32K/s로 균질성이 양호했습니다. 웨이퍼 평균온도가 640°C에 도달하기까지 20초가 걸렸습니다.

수직으로 장착된 Ø 300 mm 웨이퍼의 공기 중 온도 균일성은 ± 8 K였습니다.

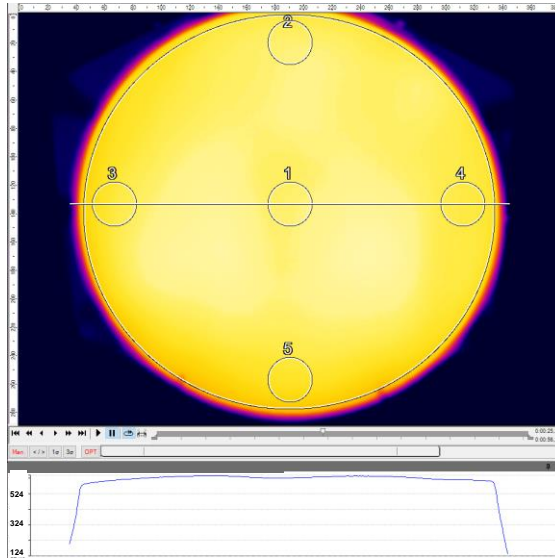


사진 8:
최고 온도에서 IR 카메라로 촬영한 2D 영상 및 수평 온도 프로파일. 사진에는 ROIs 1~5의 위치도 나와있습니다.

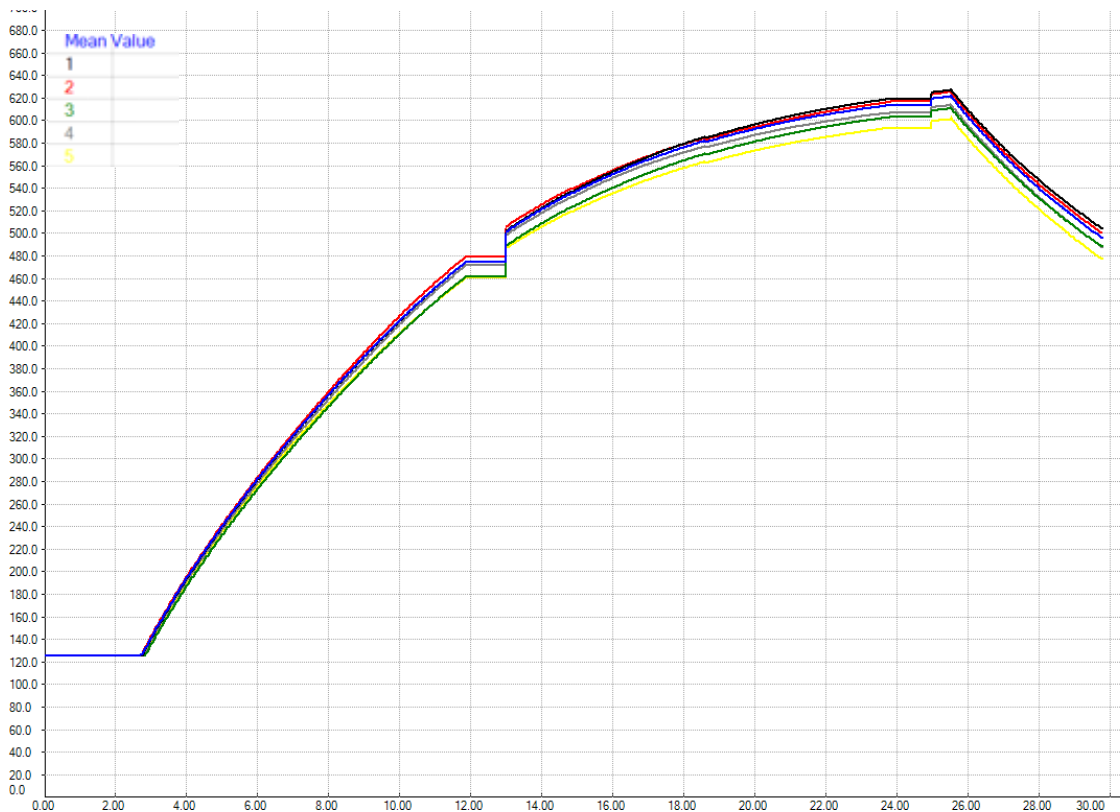


사진 9:
온도-시간: 평균값 및 ROIs 1 ~ 5입니다. IR 카메라는 측정 중 셔터로 정기적인 보정을 하고 있으며, 이로 인해 온도 곡선이 꼬일 수 있습니다.

결론

대규모 영역의 가열을 위한 새로운 VCSEL 모듈은 높은 가열 속도와 매우 우수한 균질성을 산출하는 것으로 입증되었습니다.

이 시스템에는 9.6kW의 적외선 전력을 가진 24개의 분포된 VCSEL 방출기가 장착되어 있습니다. $\varnothing 300\text{ mm}$ 실리콘 웨이퍼의 경우 공기 중 $\pm 8\text{ K}$ 의 온도 균일성으로 최대 51 K/s 의 가열 속도를 달성할 수 있습니다.

이 모듈 컨셉트는 방출기 패키징을 더 촘촘하게 하여 더 높은 성능으로 확장할 수 있습니다.

$\varnothing 300\text{ mm}$ 웨이퍼 히터에 사용할 수 있는 최대 방출기 수는 188개이며 이는 총 적외선 전력 75.2 kW 를 의미합니다. 그러한 모듈의 옵티컬 시뮬레이션은 사진 10-13과 같습니다. 사진의 원은 $\varnothing 300\text{ mm}$ 웨이퍼를 나타냅니다.

사진 10은 20 mm 작업 거리에서 적외선 전력 분배 시뮬레이션을 보여줍니다. 이러한 구성은 회전하는 웨이퍼 애플리케이션에 적합할 수 있습니다.

보다 균일한 조사를 위해서는 측면에 거울을 추가해야 하며 작업 거리는 더 커야 합니다. 사진 11은 70 W/cm^2 의 균질 적외선 조사에 적합한 약 250 mm 의 작업 거리에서의 시뮬레이션을 보여줍니다. 이를 통해 실리콘웨이퍼의 가열 속도를 최대 260 K/s 까지 높일 수 있습니다.

그러나 애플리케이션 관련 냉각 효과 등으로 인해 균일한 조사가 반드시 균일한 온도 분포로 이어지는 것은 아닙니다. VCSEL 가열 시스템의 한 가지 큰 장점은 188개의 방출기 중 모든 단일 영역의 전력 레벨을 개별적으로 제어할 수 있다는 것입니다. 각 방출기에는 두 개의 구역이 있으므로 모듈당 376개의 서로 다른 전력 설정이 있습니다.

사진 12와 13은 이러한 이점을 보여줍니다. 시뮬레이션에서는 방출기가 꺼졌습니다. 사진 12는 20 mm 거리의 강도 분포와 꺼진 방출기를 보여줍니다. 사진 13은 250 mm 작업 거리의 강도 패턴 결과를 강조합니다.

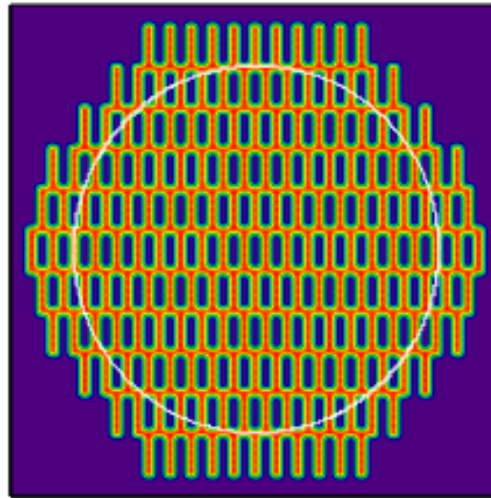


사진 10:

20 mm 의 작업거리에서 188개의 방출기를 사용한 웨이퍼 가열 VCSEL 모듈의 옵티컬 시뮬레이션

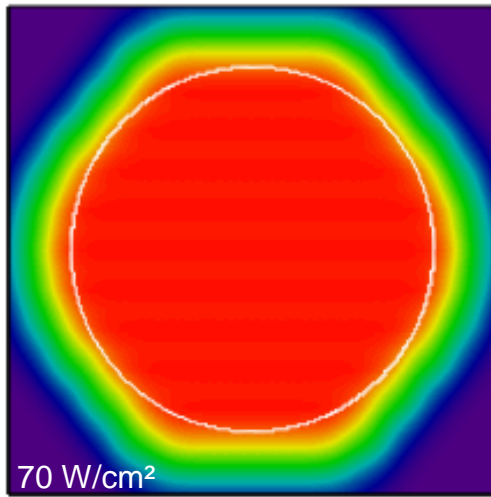


사진 11:

250 mm 의 작업거리에서 188개의 방출기를 사용한 웨이퍼 가열 VCSEL 모듈의 옵티컬 시뮬레이션

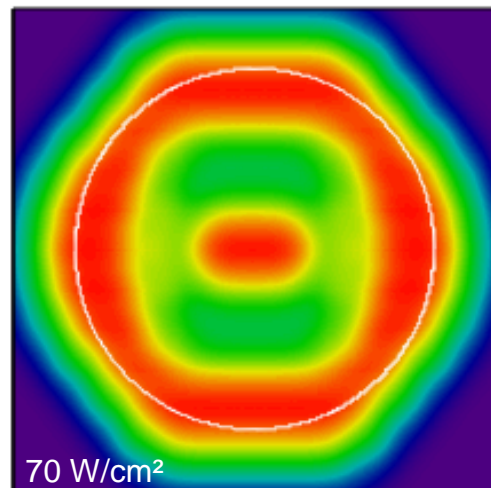
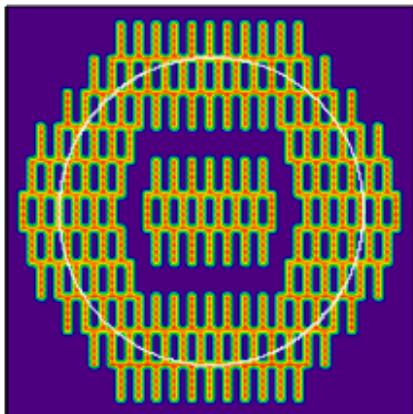


사진 12/13:

20 mm 및 250 mm 의 작업거리에서 188개의 방출기를 사용한 웨이퍼 가열 VCSEL 모듈의 옵티컬 시뮬레이션

결론

애플리케이션에 따라 방사기의 밀도가 낮은 패키징도 이점이 있습니다. 밀도가 낮은 패키징은 가공 중 웨이퍼 온도를 측정할 수 있는 옵티컬 측정법을 통합하는 데 사용할 수 있는 공간을 만듭니다. 따라서 VCSEL 시스템으로 웨이퍼를 조사할 때 측정을 동일한 쪽에서 수행할 수 있습니다. 이는 위쪽 또는 아래쪽부터일 수도 있으며 VCSELs은 특정 파장 레이저 방사선을 방출합니다(이 애플리케이션에서는 980 nm). 따라서 VCSELs의 방사선을 적절히 필터링하여 옵티컬 도량형에 대한 간섭을 억제할 수 있습니다.

웨이퍼 뒷면에서 온도를 측정하면 웨이퍼 전면의 방사율이 구조 기반 불균일성으로 인한 부정적인 영향이 제외됩니다.

VCSEL 고출력 가열 시스템을 사용한 웨이퍼 가열의 다른 장점은 다음과 같습니다:

- 선택적 가열: 실리콘웨이퍼는 980nm의 높은 흡수력을 가지므로 레이저 방사선을 통해 선택적으로 가열할 수 있습니다.
- VCSEL 칩의 매우 긴 수명 및 높은 신뢰성
- 레이저 모듈의 슬림한 디자인
- 매우 낮은 서비스 투입
- 간편한 고객 맞춤화: 300mm 웨이퍼의 경우 9.6~75kW의 총 전력과 원가를 선택할 수 있으며 이는 최적의 방출기 설치 수량으로 사용자가 지정할 수 있습니다.

웨이퍼 가열에 대한 이러한 애플리케이션 테스트 및 시뮬레이션을 통해 고출력 VCSEL 방출기를 사용한 대규모 영역 가열이 실현 가능하고 확장 가능하며 비용 효율이 높고 안정적인 것으로 나타났습니다. 게다가, 신속한 열처리(RTP)를 위한 새로운 가능성을 보여줍니다.

산업용 가열 시스템에 대한 자세한 내용은 다음 사이트를 참조하십시오.

www.trumpf.com/s/vcSEL-heating-systems