

피코초 IR 레이저를 이용한 증강 현실 안경용 고굴절을 유리 절단

증강 및 혼합 현실 기술이 특정 산업 응용분야에서 채택이 되긴 했지만 일반 소비자들이 사용하기에는 여전히 제한적입니다. 사용자의 시야에 직접 투영되는 복잡한 과정의 시각 보조 장치처럼 일부 용도가 주목을 받고 있습니다. 그러나 더 넓은 시장에서 성장을 주도하려면 기술 및 미적 개선이 필요합니다. 일부 증강 현실 (AR) 어플리케이션은 스마트폰으로 제공될 수 있지만 기기를 손에 들고 있어야 하고 상대적으로 디스플레이 크기는 작으며 당면한 작업에서 주의를 다른 곳으로 돌려야 하는 제한이 있습니다. 이에 반해 AR 안경은 사용자의 손과 초점을 자유롭게 유지하면서 매끄럽고 거슬리지 않는 디스플레이를 제공합니다. 이 어플리케이션 포커스에서는 AR 안경 렌즈 재료의 레이저 절단을 통해 이러한 제품이 소비자 시장에 선보여질 수 있는 가능성을 소개합니다.

AR 안경, 렌즈는 기존 안경의 기능과 주위 환경 기반 그래픽의 이점을 결합하는 도전 과제를 마주하고 있습니다. 이를 위해서는 우선 그래픽 콘텐츠를 개별 마이크로 디스플레이로 생성하고 이를 투명 렌즈에 결합하고 가이드 하여 최종적으로 인간의 눈에 투사합니다. 이러한 디자인 복잡성을 감안할 때 AR 안경의 채택은 부피와 시야 (FOV) 의 모순에 제약을 받습니다. 고굴절률 유리 재료의 지속적인 개발은 FOV는 더 크면서 얇고 가벼운 렌즈로 도파로 기반 장치를 가능하게 해서 이러한 절충안을 제거하고 보다 광범위한 소비자 수용을 향한 길을 닦을 수 있습니다. 그림 1은 AR 안경의 기본 디자인 구상 예시로서 고굴절률 유리를 사용하는 장점을 잘 요약하고 있습니다. 그러나 이러한 유리는 IR 피코초 레이저를 사용하더라도 일반 유리 절단처럼 우수한 엣지 품질로 절단하기는 어렵습니다

IceFyre® IR50 극초단 펄스 (USP) 적외선 (IR) 레이저를 베셀 빔 기술과 결합하여 MKS 산업용 레이저 어플리케이션 엔지니어가 AR 안경용 고굴절률 유리 가공을 진행했습니다. 이전 어플리케이션 노트 46, 54 에서 채택했던 표준 및 초박형 유리 절단 TimeShift™ ps 펄스 조정 기술을 기반으로 여기서 우리는 고굴절률 유리에서 작은 반경의 둥근 모서리를 절단하는 프로세스로 확장했습니다. 또한 TimeShift ps 의 고급 기능을 사용하여 절단 품질이 어떻게 더 향상되는지 소개합니다.

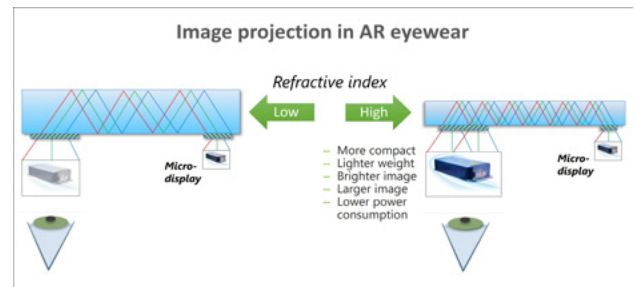


그림 1. AR 안경의 이미지 투사와 고굴절률 유리 사용의 장점

굴절률이 ~1.8 인 0.7 mm 두께의 유리를 절단하기 위한 공정 파라미터는 이전 어플리케이션 46, 54 에서 채택한 파라미터로부터 약간의 조정만 필요했습니다. (예, 재료에 대한 펄스 간 간격) 50 kHz 펄스 반복 주파수로 200 mm/s 의 속도로 직선 절단을 하기 위한 파라미터를 개발했습니다. 그러나 이 속도는 더 높은 주파수에서 최대 레이저 출력을 사용하면 >1.6 m/s 까지 확장할 수 있습니다.

를 반경이 작은 곡선을 처리하기 위해서는 스테이지 속도와 레이저 PRF를 비례적으로 축소시켜서 정확한 펄스 간격을 유지하면서 모션 시스템 기능을 수용할 수 있도록 합니다. 공정 파라미터를 미세 조정 후 2.5 kHz PRF 에서 ~0.3 W 정도 출력에 10 mm/s 의 속도로 곡률반경 0.5 mm 의 모서리를 절단하였습니다. 그림 2 는 레이저 공정 후 기계적으로 분리되기 전과 후의 유리 웨이퍼입니다.



그림 2. 고 굴절률 유리의 0.5-mm 반경 둥근 모서리 가공 현미경 이미지. (왼쪽) 수동 분리하기 전 윗면 이미지와 분리 후 윗면 이미지(오른쪽).

그림 2의 이미지는 공정이 직선 부분을 따라서 일정하게 진행되고 모서리를 그대로 따라가면서 다시 직선으로 이어지는 것을 보여줍니다. 분단 후 가장자리 거칠기는 대략 $0.6 \mu\text{m Ra}$ 로 측정이 되었고, 빔 입사 면과 출사 면의 치핑은 $5 \mu\text{m}$ 정도로 관측되었습니다.

위의 실험 결과를 통해 뛰어난 외곽선 베셀 빔 절단을 확인했지만 측벽의 거칠기 측면에서는 절단 품질을 더 개선할 가능성과 필요성이 존재합니다. 이를 달성하기 위해 우리는 TimeShift 기술을 사용하여 버스트 내의 하위 펄스의 분리 시간과 그 하위 펄스들의 상대적인 에너지를 모두 다르게 가져갔습니다. 버스트를 구성하는 하위 펄스의 수는 2개로 유지하였으며, 이는 대부분의 상황에서 최적의 조건인 것으로 확인하였습니다.

버스트 하위 펄스 분리 시간은 10 ns (이전 Application note 46, 54에서 사용)에서 100 ns로 변경되었습니다. 200mm/s 스테이지 속도, 50 kHz PRF 및 ~5.5 W의 평균 출력력을 포함한 다른 파라미터는 그대로 적용됩니다. 가장자리 거칠기 (Ra) 측정 결과의 플롯은 그림 3에 표현하였습니다.

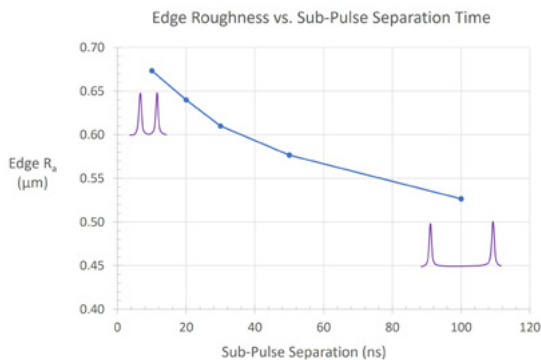


그림 3. 가장자리 Ra 플롯 vs 서브 펄스 분리 시간. 서브 펄스의 분리 시간이 증가함에 따라 거칠기는 감소하는 뚜렷한 경향성 확인.

그림 3에서 버스트 하위 펄스 분리 시간을 증가시키면 가장자리 거칠기가 10 ns 펄스 간격에서는 0.67 였으나 100 ns 펄스 간격에서는 0.53로 줄어든 것을 확인할 수 있었습니다. 이는 20% 정도 거칠기가 감소한 것입니다.

추가 테스트에서 우리는 버스트의 두 하위 펄스 사이의 에너지 비율을 변경하는 효과를 연구했습니다. 후행 하위 펄스의 에너지는 첫 번째 하위 펄스 에너지 비율의 100%에서 30%로 점진적으로 하향 조정되었습니다. (이전 작업에서 사용된 기본값은 ~70%였습니다.) 평균 출력력을 제외한 모든 파라미터들은 일정하게 유지되었습니다. 평균 출력력은 $\sim 500 \mu\text{m}$ 로 고정되는 개질 깊이를 유지하기 위해 다르게 적용되어야 합니다. 결과 데이터는 그림 4에 표시되어 있으며 가장자리 거칠기와 트레일링 펄스 상대 에너지를 표시했습니다. 구조화에 필요한 평균 출력도 선택 데이터 포인트에 대해 기록됩니다.

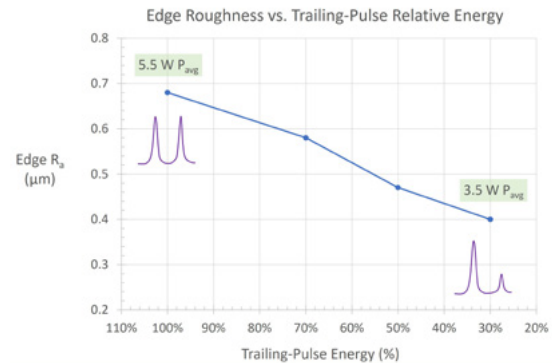


그림 4. 뒤따르는 하위 펄스의 상대적인 에너지 감소에 따라 개선된 가장자리 거칠기를 나타내는 플롯.

이러한 결과로부터 우리는 뒤따르는 하위 펄스의 에너지를 100%에서 30%로 줄이면 가장자리 거칠기가 $\sim 0.7 \mu\text{m Ra}$ 에서 $\sim 0.4 \mu\text{m Ra}$ 로 약 40% 정도 감소하는 것을 확인했습니다. 또한 완화된 거칠기는 더 낮은 평균 출력 수준 (3.5 W vs 5.5 W)에서 얻을 수 있어, 이는 품질을 개선하면서도 더 높은 생산성을 달성할 수 있음을 의미합니다. 표면 거칠기 차이의 크기는 엣지 측면 사진의 비교에서 쉽게 알 수 있으며, 측정된 거칠기가 낮을수록 전반적으로 더 미세한 표면 형태가 명확하게 보여집니다. (그림 5)

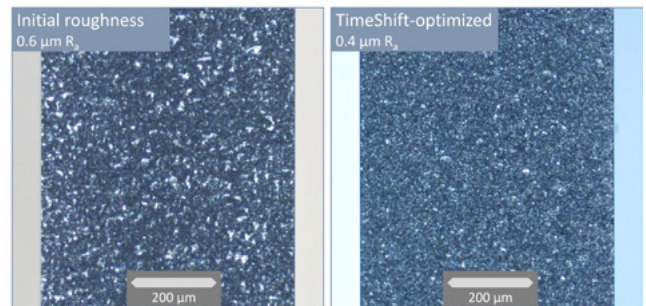


그림 5. $0.6 \mu\text{m Ra}$ (왼쪽) 그리고 $0.4 \mu\text{m Ra}$ (오른쪽)의 거칠기 값을 보이는 전체 유리 두께에서 측벽 표면의 시각적 비교.

이번에 소개해 드린 어플리케이션은 IceFyre IR50 피코초 레이저를 사용한 베셀빔 공정이 AR 안경에 사용되는 고 굴절률 유리 절단에 탁월하면서도 매우 작은 반경의 윤과 가공도 처리할 수 있음을 보여줍니다. 또한 TimeShift ps 기술로 버스트 내에 하위 펄스의 강도를 조절하면 뛰어난 품질 향상을 얻을 수 있어 시간과 비용이 많이 소요되는 후처리 과정의 필요성도 줄일 수 있습니다. 이러한 기술은 고정밀 유리 가공을 실현시켜 높은 품질을 달성하면서도 최고의 생산성을 유지함으로써 소비자 AR 안경의 대량 제조를 가능하게 합니다.

제품

IceFyre 산업용 피코초 레이저

IceFyre UV50 는 버스트 모드에서 100 μ J 의 펄스 에너지와 10 ps 펄스폭으로 1.25 MHz (>40 μ J) 에서 >50 W 의 UV 출력을 제공하는 시장에서 가장 성능이 뛰어난 UV ps 레이저입니다. IceFyre UV50 는 고출력에 UV ps 레이저의 새로운 표준이며 싱글 샷에서 10 MHz 까지 운용할 수 있습니다. IceFyre UV30 은 60 μ J 이상 (버스트 모드에서는 더 큰 에너지)의 펄스 에너지로 30 W 이상의 일반 UV 출력을 제공하고 싱글 샷에서 3 MHz 까지 탁월한 성능을 제공합니다. IceFyre IR50 은 400 kHz 단일 펄스에서 50 W 이상의 IR 출력을 제공하고 싱글 샷에서 10 MHz 까지 뛰어난 성능을 제공합니다.

파이버 레이저의 유연성과 Spectra-Physics 의 독점적인 파워 증폭 기능을 활용하는 IceFyre laser의 고유한 디자인은 TimeShift™ ps 프로그래밍 가능 버스트 모드 기술을 업계에서 가장 다양하게 사용할 수 있도록 합니다. 각 레이저에는 표준 파형 세트가 제공되고 사용자 정의 파형을 생성하기 위해 선택적으로 TimeShift ps GUI 를 사용할 수 있습니다. 레이저 디자인은 고속 스캔에서 고품질 가공을 실현할 수 있게끔 가장 낮은 타이밍 지터로 진정한 POD (주문형 펄스) 및 PSO (펄스 출력 동기화) 기능을 가능하게 합니다. 예, 폴리곤 스캐너 결합.

	IceFyre IR50
파장	1064 nm
출력	>50 W @ 400 kHz
최대 펄스 에너지, 일반 (TimeShift PS 버스트 당 가능한 최대 펄스 에너지)	>200 μ J @ 200 kHz
반복률 범위	Single shot to 10 MHz
펄스폭, FWHM	<15 ps (13 typical)
TimeShift ps	yes
펄스 에너지 안정성	<1.5% rms, 1 σ
출력 안정성 (예열 후)	<1%, 1 σ , over 8 hours
공간 모드	TEM ₀₀ (M ² <1.3)
빔 직경 (D4 σ)	3.0 mm $\pm$ 0.3 mm
빔 발산각, full angle	<0.75 mrad
편광	>100:1, vertical