

Victory Process

3D Process Simulator

SILVACO

개요

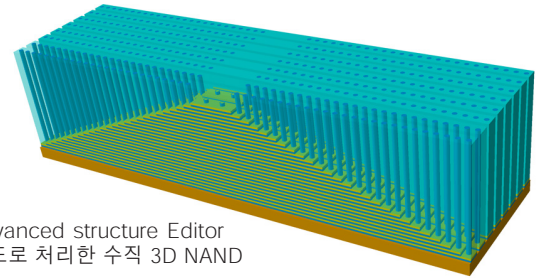
Victory Process는 식각, 증착, 이온 주입, 확산, 산화, 응력 시뮬레이션을 할 수 있는 레이아웃 기반의 범용 1D/2D/3D 공정 및 응력 시뮬레이터입니다.

특징

- 3D 구조 프로토타입을 빠르게 생성하여, 특정 공정 문제에 대해 심층적인 물리적 분석 가능
- 양면 웨이퍼 공정 시뮬레이션 지원
- 다양한 조합으로 이루어진 화합물에 대해 종합 시뮬레이션을 지원
- 포괄적 확산 모델 세트: 페르미, 2D, 싱글-페어, 5-스트림
- 격자 불일치, 열 불일치, 증착 및 물리적 산화에 의해 유발되는 응력을 포함하여, 전체 플로우의 응력을 종합적으로 분석
- 정확하고 빠른 몬테 카를로 이온 주입 시뮬레이션
- 이온 주입, 확산, 산화, 물리적 식각, 증착 등, 시간이 중요한 작업에 대해 멀티 스레드를 이용하여 효율적으로 실행
- 기판 물질의 재증착으로 물리적 증착 및 식각을 위한 다중 입자 플렉스 모델
- 개방형 아키텍처를 통해 식각, 증착, 어닐링을 위한 고객의 특정 물리 모델의 도입 및 수정 용이
- 구조 미러링, 불순물 정제, 전극 사양 등을 3D 소자 시뮬레이터에 원활하게 연결
- 시뮬레이션 플로우의 일부처럼 레이아웃 사양을 파라미터로 처리
- 시뮬레이션 플로우에서 메쉬를 수동으로 조정하거나 레이아웃의 특징에 기초하여 메쉬를 편리하게 설정
- 배우기 쉽고 강력한 디버그 모드 및 사용자에게 친숙한 SUPREM 유사 구문 (Athena 호환)
- 2D 모드로 간편한 보정 플랫폼 및 신속한 공정 테스트 (보정에 3D 실행 불필요)
- 공정 시뮬레이션 중에 1D/2D/3D 모드의 자동 전환 및 구조 미러링을 통해 시뮬레이션 시간 최적화

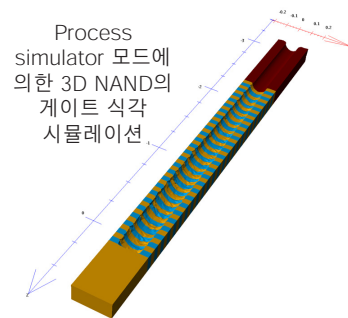
Victory Process의 2가지 동작 모드

- Advanced structure Editor 모드는 셀 모드라고도 하며, 이미지 센서, SRAM 셀 또는 FinFET 같은 3D 구조의 프로토타입을 빠르게 생성합니다. 여기서, 구조 출력 메시 알고리즘은 후속 전기적 특성 분석을 위해 3D 소자 시뮬레이터에 로드되도록 최적화됩니다.

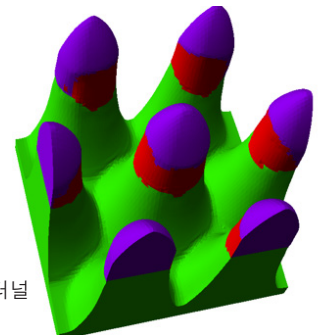


Advanced structure Editor
모드로 처리한 수직 3D NAND

- Process simulator 모드는 전체 기능을 활용하는, 레벨 세트 기반의 1D/2D/3D 공정 및 응력 시뮬레이터로서, 복합적인 이온 빔 밀링 실험과 응력 종속성 산화 분석 등의 공정 기반 분석에 더욱 적합합니다.



Process
simulator 모드에
의한 3D NAND의
게이트 식각
시뮬레이션



Process simulator 모드에 의한 자기 터널
접합 기동 형성 시뮬레이션

본 브로셔는 먼저 이온 주입, 확산, 에피택시, 응력 분석처럼 두 가지 동작 모드에 공통적인 예시와 기능을 소개하고, 그 다음 advanced structure editor 모드 또는 Process simulator mode 모드에 국한된 기능을 설명합니다.

Advanced Structure Editor 및 Process Simulator 모드에 공통적인 기능

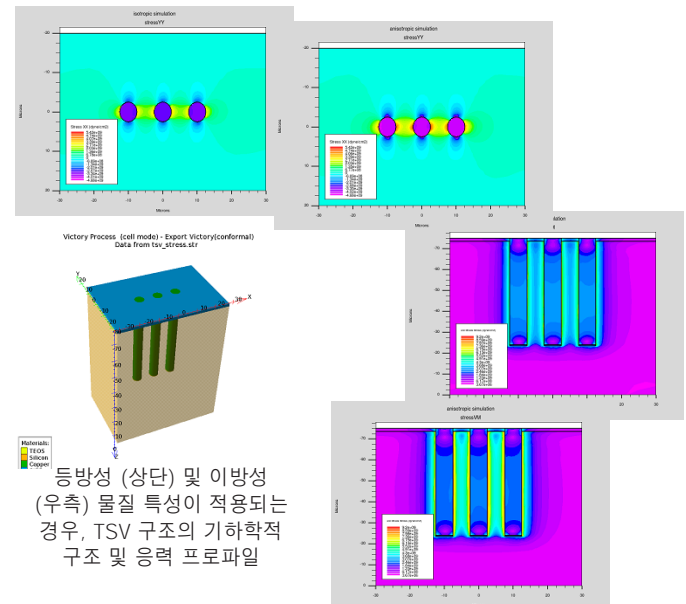
레이아웃의 종합적 처리

- 시뮬레이션 플로우에서 포괄적인 인자 세트로 레이아웃을 설정하여, 복잡한 파라미터화 레이아웃을 구현
- gds 및 실바코 고유의 마스크 포맷으로 사전 정의한 레이아웃을 처리
- 사전 정의한 레이아웃 수정 (이동, 크기 조정, 부울 연산)
- LVS 룰 데크를 토대로 마스크 레이어 생성



응력 경과 시뮬레이션

- 모든 공정 단계에 대한 전체 응력 이력 또는 단일 단계에 대한 응력 분석 시뮬레이션
- 증착에 의한 내재적 응력, 격자 불일치 응력, 열 불일치 응력, 산화로 인한 응력 등 유발성 응력의 원천에 대해 다중 처리
- 산화에 대한 응력 피드백 설명
- 점진적으로 변화하는 화합물 기판 및 점진적으로 변화하는 에피택시 화합물 레이어의 처리



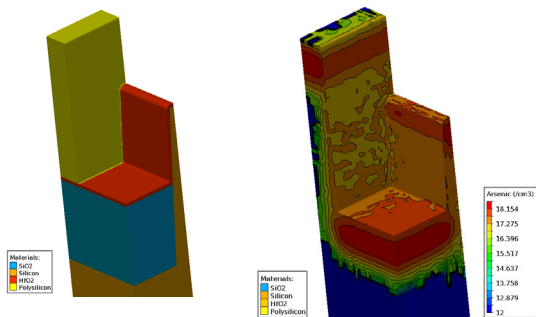
분석적 이온 주입

- 실험적으로 검증된 피어슨/듀얼 피어슨 주입 모델
- 에너지, 주입량, 기울기, 회전 변화를 포함하여 확장된 주입 모멘트 표
- 사용자 고유의 주입 프로파일 및 모멘트 표 지원
- 완전한 멀티 스레드 방식으로 CPU 갯수에 거의 선형적으로 비례하여 실행 시간을 단축

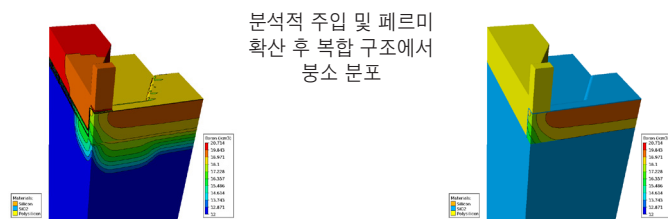
몬테 카를로 주입

- 몬테 카를로 주입 모듈에 의한 모멘트 추출 지원
- 몬테 카를로 시뮬레이션으로 얻은 3D 프로파일 로드
- 1D 실험 프로파일 로드 지원
- 임의의 기하학적 구조와 다층 구조를 형성하여 결정성 물질 및 비정질 물질 모두에서 이온 분포를 매우 정확하게 표현
- 사용자 정의 물질 지원
- 물질 특성은 개방형 물질 데이터베이스에서 구성 가능
- 최소 200eV부터 MeV 범위에 이르는 광범위한 에너지에 대해 정확하게 보정
- 다이아몬드 및 육각형의 결정 물질에 주입 보정: 실리콘, SiC, GaN
- 임의 기판 방향 지원
- 반사, 재주입 및 딥 트렌치(deep trench)와 보이드(void)에서의 음영처럼 복잡한 주입 효과를 모두 설명

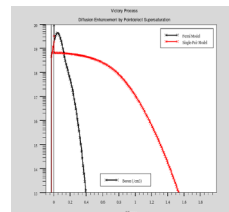
- 임의의 주입 방향을 처리
- 기본 채널 외에 가능한 모든 보조 채널 및 결정학적 평면에서 채널링을 예측하는 3D 이진 충돌 근사값 적용
- 얇은 접합 형성, 다중 주입 및 사전 비정질화, HALO 주입, 역행 우물(retrograde well) 형성 및 우물 근접(well proximity) 효과와 같이 중요한 기술 문제에 대해 시간 및 비용 효율적인 솔루션 제공
- 완전한 멀티 스레드 방식으로 CPU 갯수에 거의 선형적으로 비례하여 실행 시간을 단축



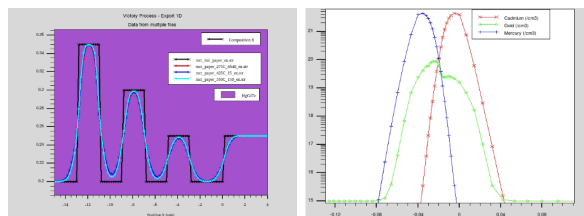
비평면 구조에 몬테 카를로 이온 주입을 실행하여 채널링, 음영, 산란 효과를 확인



분석적 주입 및 페르미 확산 후 복합 구조에서 붕소 분포



침입형 초포화 상태에서 페르미 및 3-스트림 확산 모델의 비교



다양한 온도에서 어닐링에 의한 HgCdTe 조성의 재분포 - 카드뮴, 수은, 불순물이 동시에 확산

확산

- Athena/SSUPrem4와 호환되는 2D, 페르미, 그레인 기반 확산 모델
- 다양한 불순물 확산 시뮬레이션
- 물질 계면의 고체 용해도, 불순물 활성화 및 분리 설명
- 실리콘과 SiGe 또는 두 영역의 SiGe처럼 물질 조성의 급격한 변화에 대한 연속성 인터페이스 조건
- 완전한 멀티 스레드 방정식 어셈블러와 선형 솔버에 의해 멀티 코어 컴퓨터에서 상당한 속도 향상
- 과도 촉진 확산 효과 시뮬레이션
- 3-스트림, 5-스트림 확산 모델
- 점 결함 트랩 및 클러스터링 모델
- 모든 물질 계면에서 불순물 분리
- 불순물 활성화 및 고체 용해도
- HgCdTe, InP, SiGe, SiGeC와 같은 화합물 반도체의 확산은 조성 의존성을 고려
- HgCdTe 같은 화합물 반도체에서의 물질 조성의 재분포를 시뮬레이션
- 이종 구조 소자를 위한 불연속 물질 인터페이스 모델
- 산화 매개 확산 시뮬레이션
- 시공간에 따라 달라질 수 있는 사용자 정의 온도 프로파일을 사용하여, 플래시 어닐링 및 레이저 어닐링 시뮬레이션

에피택시

- 단원자 및 화합물 물질의 에피택시 성장
- 에피택시 과정에서 도핑 재분포 설명
- 에피택시 과정에서 조성의 점진적 변화 처리
- 정교한 온도 프로파일 지원

개방형 물질 데이터베이스

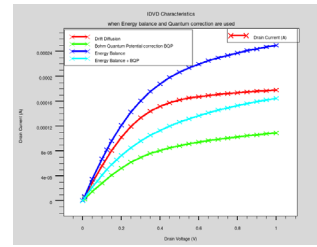
- 모든 물질 및 모델링 데이터에 접근
- 사용자가 지정한 물질 데이터베이스 및 특정 시뮬레이션에 대한 물질 데이터베이스 지원
- 상속(inheritance)으로 시뮬레이션에 특정 물질 정의
- 물질 데이터베이스의 기능적 계층을 통해 물질 모델의 수정 및 확장 용이
- 최신 물질 모델을 개발하기 위해 어닐링 모델 라이브러리를 열기 위한 인터페이스
- 모든 Victory 제품은 물질 데이터베이스를 공유

개방형 모델링 인터페이스 기능

- 모델 종류 정의
- 모델 파라미터 정의
- 반응 함수 정의
- PDE 시스템 설정

소자 메쉬 인터페이스

- 다양한 메쉬 유형 지원
- 전체 미세화, 인터페이스 미세화, 접합 미세화, 형상 미세화 등, 모든 메쉬 유형에 대해 폭넓은 미세화 기능 제공
- 종횡비로 정렬된 이방성 메쉬 지원
- 미러링, 자르기, 슬라이싱 동작으로 구조 수정

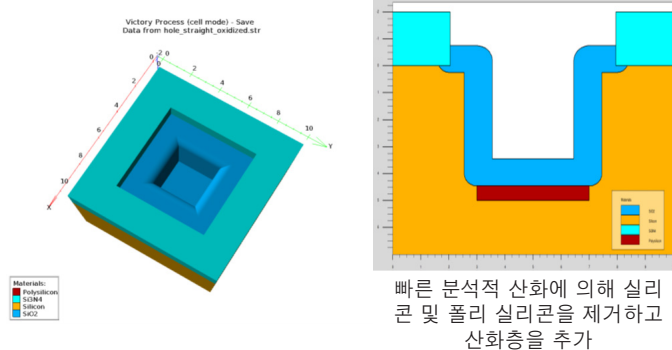


Victory Device로 시뮬레이션한 IDVG 특성은 에너지 균형 및 양자 보정이 사용될 때의 차이를 나타냅니다.

Advanced Structure Editor 모드

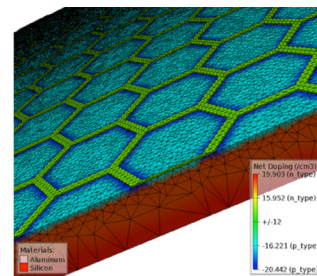
신속한 기하학적 식각, 증착, 경험적 산화

- 구조를 나타내기 위해 구조화되지 않은 메쉬
- 이상적인 등방성, 건식 식각 및 평면화
- 물질 영역의 선택적 식각 또는 제거
- 이상적인 등각, 방향 증착 - 맨해튼 모드 및 곡선 모드
- 팹처럼 마스크 레이아웃에 기초하여 처리
- 산화물 형태에 가깝게 매우 빠른 경험적 산화
- Deal-Grove 및 Massoud 모델은 경험적 모드에서 사용



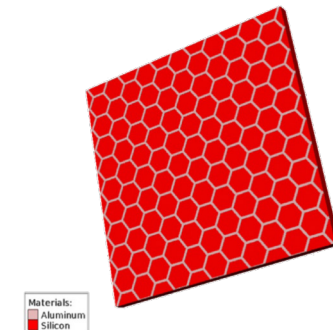
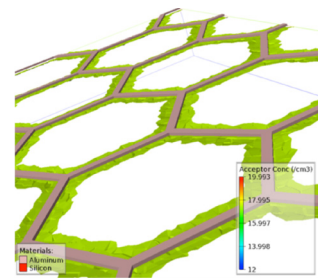
광학 - CIS, CCD, 태양 전지

태양 전지에 대한 수많은 설계 기준 중에서 상단 금속 컨택의 설계는 태양 전지 효율에 영향을 미칩니다. 상단 컨택의 면적 밀도는 태양 전지 출력 전력의 크기에 영향을 미칩니다.



육각형 금속 컨택 아래의 액세서 3.4e¹⁷ /cm³ 등위면

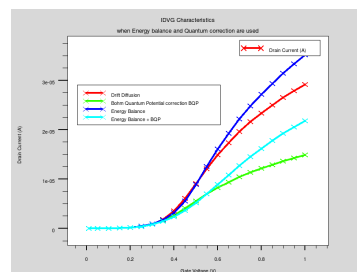
태양 전지 시뮬레이션에 사용되는 적응형 3D 틀로네 메쉬



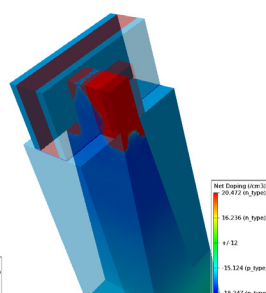
1mm² 실리콘 태양 전지를 위한 최대, 최소 육각형 그리드 상단 컨택

FinFET 예시

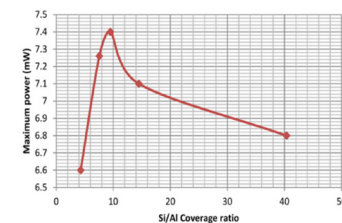
양자 보정 및 에너지 균형을 포함한 3D FinFET 시뮬레이션



3D FinFET 순 도핑 분포

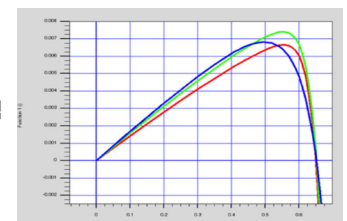


Victory Device로 시뮬레이션한 IDVG 특성은 에너지 균형 및 양자 보정을 사용할 때의 차이를 나타냅니다.



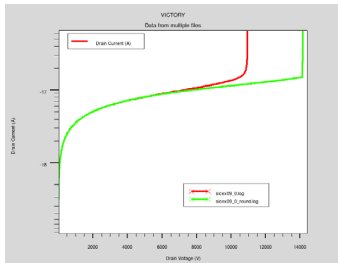
최대 출력 전력과 금속 커버리지 비율 R의 관계

태양 전지 효율: 최소 육각형 (외접원 반지름 즉 측면 길이 a=104 μm) - 적색, (a=225 μm) - 녹색, 최대 육각형 (a=945 μm) - 청색



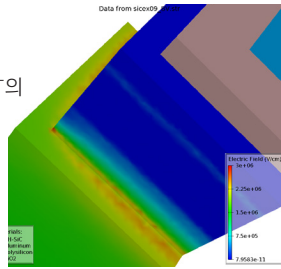
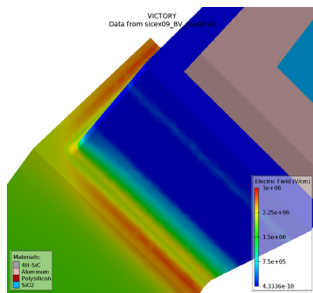
SiC 트렌치 IGBT 예시

3D 트렌치 SiC IGBT 시뮬레이션은 각진 트렌치에 비해 둥근 트렌치에서 항복 전압이 약 350V 전압까지 증가하였음을 나타냅니다.



각진 트렌치와 둥근 트렌치에 대해 Victory Device 3D IGBT BV 시뮬레이션을 실행하여 결과를 비교

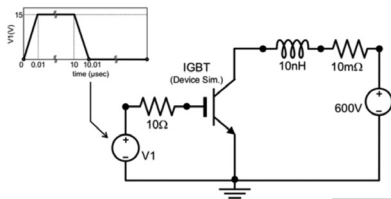
각진 트렌치가 있는 3D IGBT의 전기장 분포



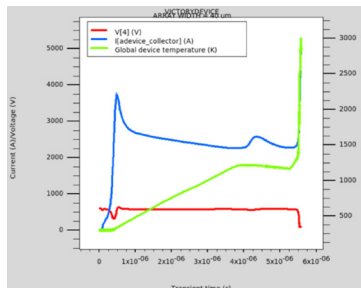
둥근 트렌치가 있는 3D IGBT의 전기장 분포

다중 셀 IGBT의 3D 전류 밀집

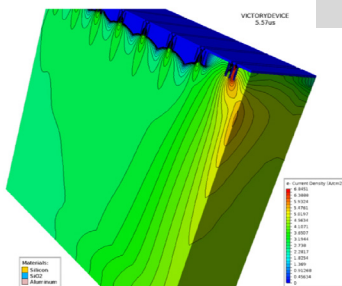
단락 회로 조건에서 IGBT 멀티셀 어레이에 대한 전류 필라멘트의 3D TCAD Mixed-Mode 시뮬레이션



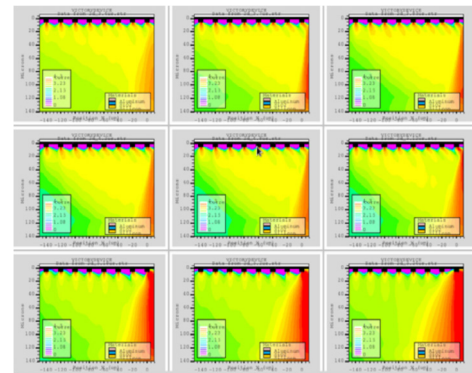
열 효과를 포함한 3D Mixed-Mode 단락 회로 시뮬레이션



40 μm 폭의 3D 8셀 IGBT 어레이에 대한 단락 회로 파형



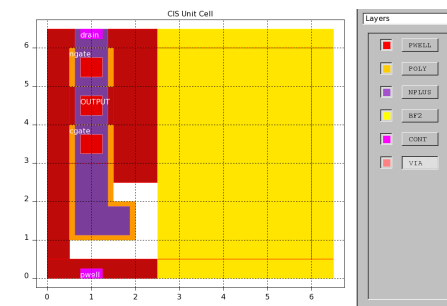
소자 고장 지점 $t = 5.57 \mu\text{s}$ 에서의 전자 전류 밀도 분포



1 μm 폭의 유사 3D 8셀 IGBT 어레이의 단락 회로 파형. (b)선택 지점에서 소자 번아웃 직전의 전자 전류 밀도 변화를 나타내는 단면도

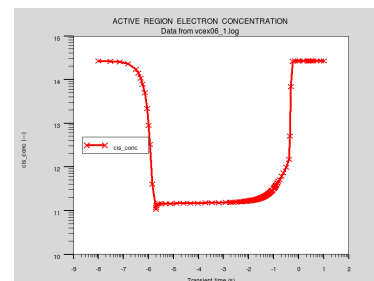
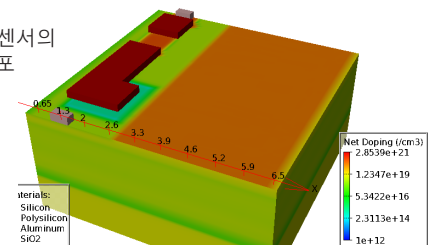
CMOS 이미지 센서 예시

두 개의 패스 트랜지스터를 포함한 전체 CMOS 이미지 센서 셀의 TCAD 시뮬레이션입니다.



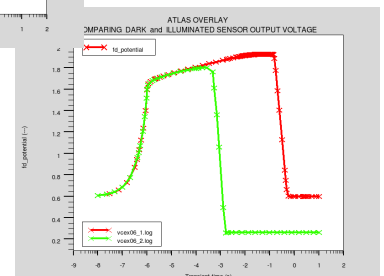
CMOS 이미지 센서 레이아웃

3D CMOS 이미지 센서의 3D 순 도핑 분포



Victory Device를 사용한 암 회복 시간 (dark recovery time) 시뮬레이션의 전자 농도 계산

Victory Device를 사용한 센서 출력 전압 시뮬레이션에서 조명의 유무에 따른 비교

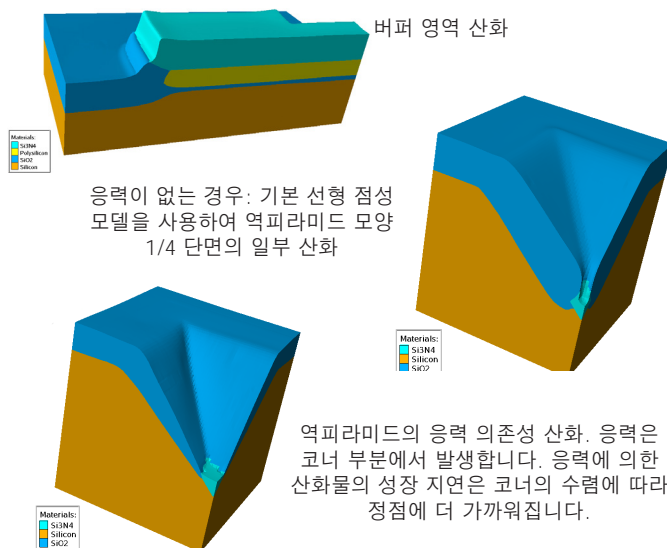


Process Simulator 모드

공정 모드에서, 표면 사이에 “샌드위치처럼” 물질 레이어가 쌓여서 구조를 암시적으로 나타냅니다. 각 표면은 직교 메쉬의 계층에서 암시적으로 정의됩니다.

산화 모델

- 산화는 경험적, 전체 물리적 또는 하이브리드 모드로 시뮬레이션 가능
- 경험적 모드는 매우 얇은 산화층에 적용
- Deal-Grove 및 Massoud 모델은 경험적 모드에서 사용
- 전체 물리적 모드는 산화제 수송, Si/SiO₂ 계면에서의 반응, 점성 유동, 물질 변형, 응력 형성을 시뮬레이션
- 산화물 두께에 따라 경험적 모드와 전체 물리적 모드를 자동으로 전환
- 경험적 모드는 성긴 메쉬가 있는 평면 영역에서 사용되어, 메쉬 크기보다 작은 레이어 두께를 해결 가능
- 전체 물리 모드는 미세 메쉬 영역에서 사용
- 응력에 의존적인 산소 수송 및 계면 반응
- 방향 의존성, 도핑 의존성, 주변 조건 설명
- 완전한 멀티 스레드 방식으로 CPU 갯수에 거의 선형적으로 비례하여 실행 시간을 단축
- SiGe, SiC와 같은 화합물 반도체 또는 이종 구조 소자의 산화



물리적 식각 및 증착 모듈은 다양한 토폴로지의 진화 공정을 다루는 포괄적인 모델 세트를 포함합니다. 이는 반도체의 제조와 미디어 및 마찰 응용 제품의 하드 코팅에 사용됩니다.

물리적 식각

- 선택성이 높은 선택적 식각
- 등방성, 이방성, 방향성 식각
- 결정 방향에 의존적인 이방성 식각 (예: KOH의 실리콘)
- 물질 재증착을 통한 플라즈마 식각
- 입자 수송 효과와 입자 및 반응기의 특성을 설명
- 메모리 기술의 딥 트렌치 식각을 위해 이온 강화 화학적 식각처럼 다중 입자 식각 모델을 제공
- 완전한 멀티 스레드 입자 플렉스 계산으로 CPU 갯수에 거의 선형적으로 비례하여 실행 시간을 단축

물리적 증착

- 등각, 비등각, 방향성 증착
- 스퍼터 증착
- 이온 보조 스퍼터 증착
- 입자 수송 효과와 입자 및 반응기의 특성을 설명
- 완전한 멀티 스레드 입자 플렉스 계산으로 CPU 갯수에 거의 선형적으로 비례하여 실행 시간을 단축

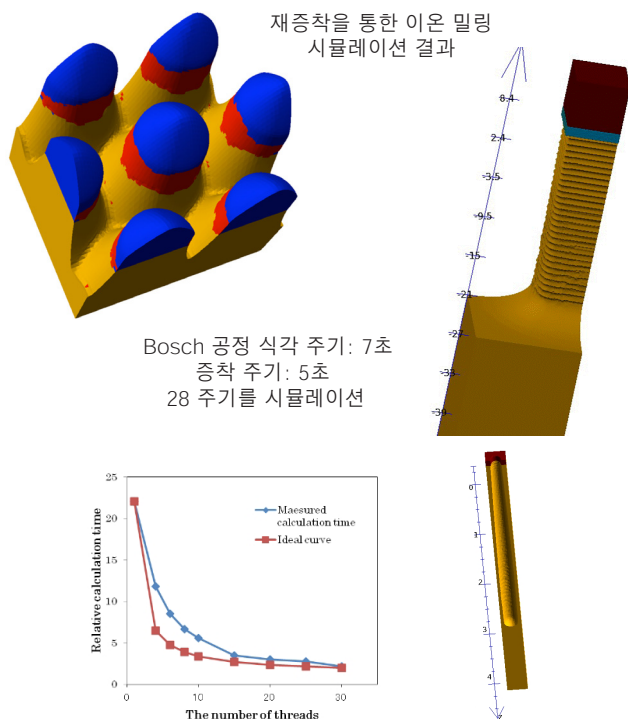
개방형 모델 인터페이스 기능

- 다중 반사를 갖는 플렉스에 대해 경험적 근사치를 신속하게 제시
- 식각율, 적합성, 이방성, 부착 계수에 대해 사용자가 정의할 수 있는 모델
- 사용자 지정한 기술 모델 (예: 식각율 대 기체 흐름)
- 사용자가 표면 반응 모델 정의 가능
- 사용자가 플렉스 모델을 통해 입자 수송 특성을 정의
- 모든 모델은 탄도 수송을 고려
- 수송 모드를 자동으로 선택
- 다중 입자의 수송 및 반응

이온 밀링 (IM) 및 이온 빔 증착 (IBD)

- 정적 및 회전 빔
- 다중 합금 물질의 재증착 등, 회전 빔의 선택적 스위칭
- 이온 빔 식각 및 이온 빔 증착을 위해 고도로 조준 및 발산되는 빔

- 재증착 효과의 시뮬레이션
- 재료에 따른 수율 함수 및 재방출 효율의 구성 가능
- 음영 효과 고려
- 이온 에너지, 빔 전류, 이온 질량, 이온 전하와 같은 처리 조건을 고려한 경험적 수율 모델



IECE (Ion Enhanced Chemical Etching) 모델을 사용하여 높은 종횡비 (1:30)로 트렌치 식각

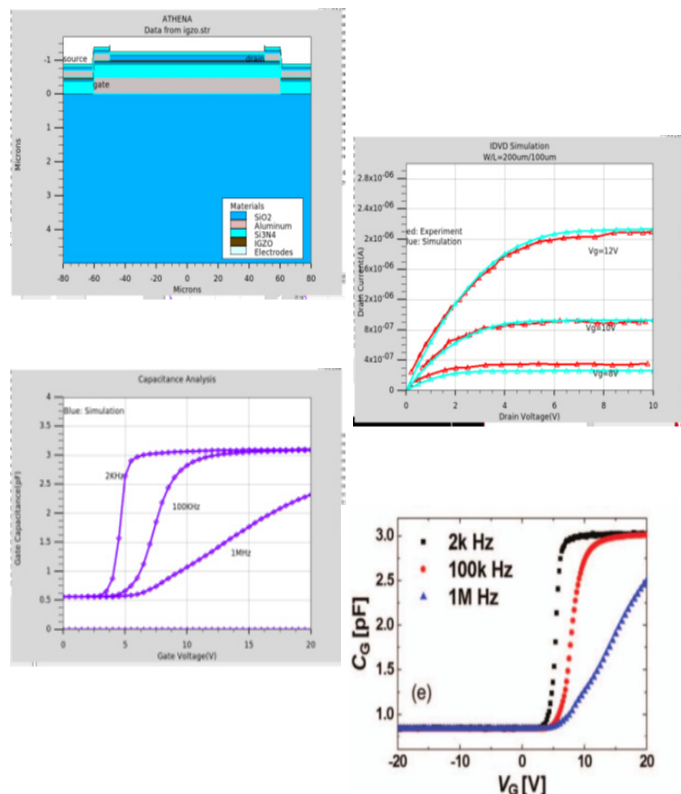
1D/2D 시뮬레이션 기능은 프로세스 모드에서 사용할 수 있습니다. Athena를 대체하는 것으로 생각할 수 있으며, 기존 입력 파일을 변환하기 위해 대부분의 구문이 호환됩니다.

1D/2D 모드

- 구문이 매우 유사하여 Athena 및 T-Suprem에서 쉽게 마이그레이션
- Deckbuild에서 입력 데크를 자동 변환
- 레벨 세트에 기초한 식각, 증착, 산화에 의해 복잡한 구조 형상에 대해 안정성 향상
- 전체적인 3D 시뮬레이션에 앞서, 1D/2D 시뮬레이션을 통해 빠른 보정 및 공정의 프로토타입 실행
- 개방형 모델링 인터페이스 및 물질 데이터베이스를 통해 표준, 신규 물질, 불순물에 대한 맞춤형 모델 개발 가능
- Atlas, Victory Device에 원활하게 연결
- 시간이 소요되는 공정 단계를 위한 멀티 스레딩 기능

a-IGZO TFT 특성

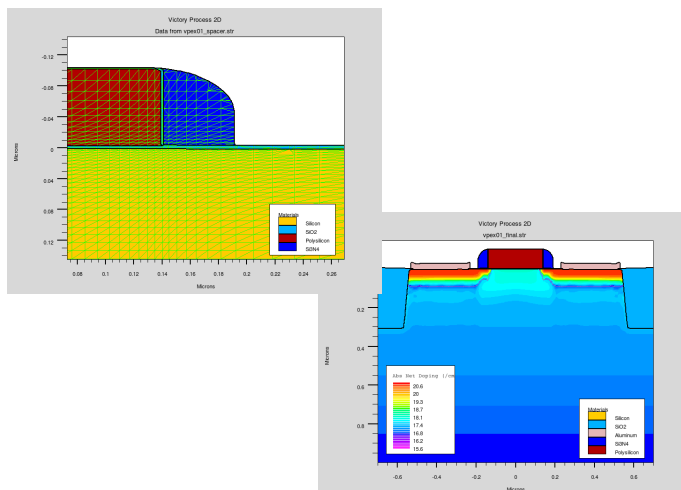
본 예시는 디스플레이 애플리케이션에 사용되는 고급 비정질 InGaZnO TFT의 공정과 소자 시뮬레이션을 결합하여 특성을 나타냅니다.



공정 시뮬레이션에서 얻은 a-IGZO TFT의 구조(좌)와 소자 시뮬레이션에서 얻은 IV 플롯 및 IdVd 플롯의 실험값 비교

28nm MOSFET

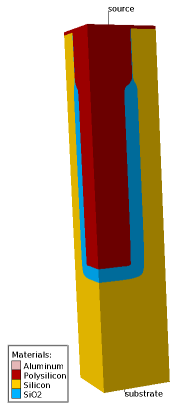
본 예시는 STI (Shallow Trench Isolation)가 있는 28nm NMOS 트랜지스터에 대한 2D 공정 시뮬레이션을 나타냅니다. 여기서 Athena와의 일반적인 호환성을 확인할 수 있습니다.



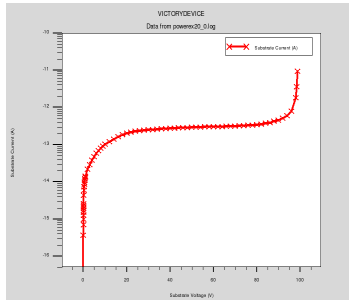
2D 공정 시뮬레이션에서 식각, 증착, 이온 주입, 확산/산화 등의 20가지 공정 단계를 거친 결과를 제공합니다.

3D 수직 LOCOS 전력 MOSFET

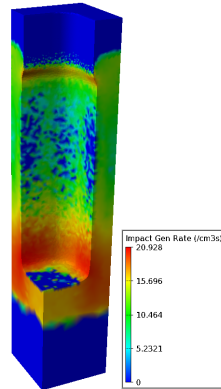
다음은 Victory Process에서 단순화된 공정 플로우로 생성한 3D 곡선 모서리 수직 LOCOS MOS 전력 소자를 나타냅니다. 그 후, 구조를 Victory Device에 전달하여 전기적 시뮬레이션을 수행합니다.



수직 MOSFET의 기하학적 구조



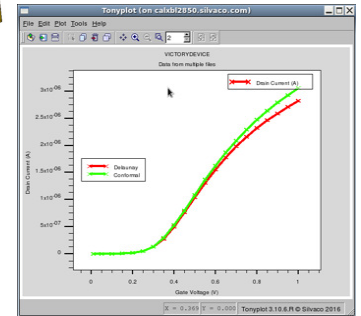
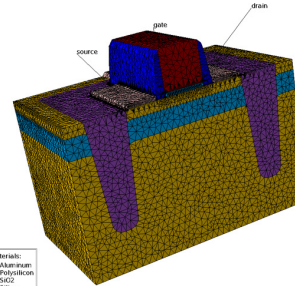
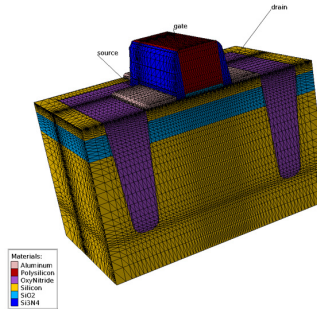
고장까지의 IV 커브



고장 직전의 임팩트 이온화

20 nm FDSOI

상이한 소자 메쉬 기법을 사용하여 완전히 공핍된 20nm SOI 트랜지스터에 대해 공정 및 소자 시뮬레이션을 결합합니다.



메쉬 형상이 포화 전류에 미치는 영향을 분석
(상 - Victory (등각) 메쉬, 중간 - Victory (들로네) 메쉬,
하 - 상이한 소자 메쉬로 얻은 IV 곡선)

