



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년08월09일
(11) 등록번호 10-2009552
(24) 등록일자 2019년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01) G03F 1/36 (2012.01)
G03F 1/80 (2012.01) G06F 17/50 (2006.01)
H01J 37/317 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03F 7/705 (2013.01)
G03F 1/36 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-7033380
(22) 출원일자(국제) 2015년06월02일
심사청구일자 2016년11월29일
(85) 번역문제출일자 2016년11월29일
(65) 공개번호 10-2017-0046607
(43) 공개일자 2017년05월02일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2015/062301
(87) 국제공개번호 WO 2015/185576
국제공개일자 2015년12월10일
(30) 우선권주장
14305834.5 2014년06월03일
유럽특허청(EPO)(EP)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020130008662 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
꼼미사리아 아 레네르지 아토미끄 에프 옥스 에너지스 엘터네이티브즈
프랑스, 파리 75015, 바띠맹 르 포낭트 디, 뤼 레 블랑크 25
아셀타 나노그라픽
프랑스, 그르노블 38000, 미나텍 바. 52 드 오프 테크놀로지, 파르비 루이 네엘 7
(72) 발명자
사이브, 모하메드
프랑스, 생 마르탱 드에르 에프-38400, 뤼 두 독 테르 페이롤랑 15
페이, 오렐리앙
프랑스, 그레노블 에프-38000, 뤼 디데로 16
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
강명구, 김현석

전체 청구항 수 : 총 14 항

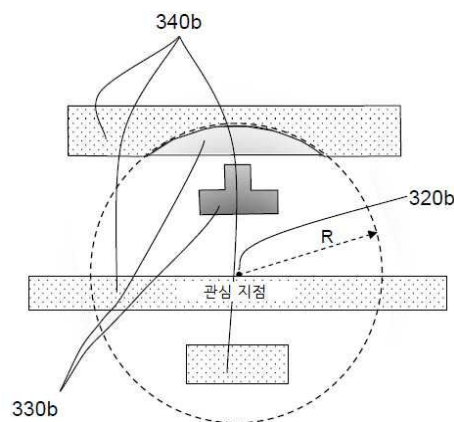
심사관 : 박종민

(54) 발명의 명칭 IC 제조 공정의 메트릭을 계산하기 위한 방법

(57) 요약

본 발명은 IC 제조 공정의 레지스트 모델의 파라미터를 계산하기 위한 방법을 개시한다. 본 발명의 방법의 실시 예에 따르면, 전체 타깃 설계에 걸쳐 편이 각을 갖는 변형 함수와 합성된 커널 함수와 콘볼루션되는 타깃 설계를 나타내는 함수. 바람직하게는, 변형 함수가 이의 푸리에 급수 전개로 대체되고, 푸리에 급수 전개 차수는 타깃 설계에 적용되는 교정의 공차 내에서 회전 동안 콘볼루션 곱이 불변이도록 선택된다. 대안적으로, 콘볼루션 곱이 편이 각의 값에 대한 변형 함수가 편이 각에 근사하는 한 쌍의 기본 커널 함수로 투영될 수 있도록 결정된 각도 만큼 변화하도록 선택되는 기본 커널 함수로 분해될 수 있다.

대표도 - 도3b



(52) CPC특허분류

G03F 1/80 (2013.01)
G03F 7/70441 (2013.01)
G06F 17/5081 (2013.01)
H01J 37/3174 (2013.01)
G06F 2217/12 (2013.01)

(72) 발명자

시아본느, 패트릭

프랑스, 빌라드-본노 에프-38190, 뤼 빅토르 파비
에르 3

피구에이로, 티아고

프랑스, 그레노블 에프-38000, 불레바르드 에두와
도 레이 1

(56) 선행기술조사문헌

US20110213977 A1*
JP2010140021 A
KR1020010024114 A
KR1020140027377 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

컴퓨터로, 타깃 설계(340b)에 의해 형성되는 반도체 집적 회로를 제조하기 위한 공정의 메트릭을 나타내는 벡터의 성분을 결정하는 방법으로서, 상기 방법은

관심 지점(x, y)(320b)으로서 타깃 설계의 적어도 한 지점을 선택하는 단계,

관심 지점을 중심으로 갖는 커널 함수 K(r)를 선택하는 단계 - 상기 커널 함수는 반지름에 종속적임 - ,

타깃 설계(320b) 전체에 걸쳐 타깃 설계 함수 L(x, y)와 커널 함수 K(r)와 변형 함수 $f_{x,y}(\theta, \phi_{x,y})$ 의 합성 $N(x, y)=K(r) f_{x,y}(\theta, \phi_{x,y})$ 의 콘볼루션 함수 $L(x, y)*N(x, y)$ 를 계산하는 단계 - 상기 변형 함수는 관심 각 $\theta=\arctan(y/x)$ 및 선택된 편이 각 $\phi_{x,y}$ 에 종속적임 - ,

관심 지점(x,y)(320b)에서의 콘볼루션 함수 $L(x, y)*N(x, y)$ 의 값으로부터 메트릭(metrics)을 계산함으로써 성분 V(x,y)의 값을 결정하는 단계를 포함하는, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 성분이 콘볼루션 함수로부터 결정된 관심 지점에서의 타깃 설계의 외부 밀도(external density)이며, 편이 각 $\phi_{x,y}$ 이 관심 지점으로부터 설계의 부분 외부를 스캔하도록 선택되는, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 성분이 콘볼루션 함수로부터 결정된 관심 지점에서의 타깃 설계의 내부 밀도(internal density)이며, 편이 각 $\phi_{x,y}$ 이 관심 지점으로부터 설계의 내부 부분을 스캔하도록 선택되는, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 4

제2항 또는 제3항에 있어서, 상기 편이 각 $\phi_{x,y}$ 은 $\phi_{x,y} + \pi$ 와 동일한, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 커널 함수는 등방성 함수(isotropic function)인, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 커널 함수는 가우시안 함수인, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 변형 함수는 π 보다 높은 관심 각의 값에 대해 널(null)이도록 선택된 삼각 함수들의 합성인, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 변형 함수는 π 보다 높은 관심 각의 값에 대해 널(null)이도록 선택된 삼각 함수들의 제곱 및 세제곱 중 하나의 합성인, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 변형 함수는 푸리에 급수 전개로 교체되는, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 푸리에 급수 전개는 n 차로 전개되어, n 차로 전개된 콘볼루션의 곱이 타깃 설계에 적용될 교정의 공차 내에서 관심 지점 주위에서 불변이도록, n 이 선택되는, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 변형 함수는 기본 커널 함수의 쌍의 투사로 교체되며, 상기 기본 커널 함수는 타깃 설계에 걸쳐 편이 각 $\phi_{x,y}$ 의 변동의 영역을 스캔하도록 선택되는 각 변형을 갖는, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 기본 커널 함수의 쌍은 편이 각 $\phi_{x,y}$ 초과 및 미만인 2개의 선택된 기본 커널 함수가 각 변형을 갖도록 선택되는, 벡터의 성분을 결정하는 방법.

청구항 13

타깃 설계에 의해 형성되는 반도체 집적 회로를 제조하기 위한 공정의 메트릭을 나타내는 벡터의 성분을 결정하기 위한 컴퓨터 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독가능 기록 매체로서, 상기 컴퓨터 프로그램은

타깃 설계의 한 지점을 관심 지점으로서 선택하기 위한 컴퓨터 코드,

관심 지점을 중심으로 갖는 커널 함수 $K(r)$ 를 선택하기 위한 컴퓨터 코드 - 상기 커널 함수는 반지름에 종속적임 - ,

타깃 설계 전체에 걸쳐 타깃 설계 함수 $L(x, y)$ 와 커널 함수 $K(r)$ 와 변형 함수 $f_{x,y}(\arctan(y/x)+\phi_{x,y})$ 의 합성 $N(x, y)=K(r) f_{x,y}(\arctan(y/x)+\phi_{x,y})$ 의 콘볼루션 함수 $L(x, y)*N(x, y)$ 를 계산하기 위한 컴퓨터 코드 - 상기 변형 함수는 시야 각 $\arctan(y/x)$ 및 선택된 편이 각 $\phi_{x,y}$ 에 종속적임 -

관심 지점에서의 콘볼루션 함수 $L(x, y)*N(x, y)$ 의 값으로부터 메트릭(metrics)을 계산함으로써 성분 $V(x, y)$ 의 값을 결정하기 위한 컴퓨터 코드를 포함하는, 컴퓨터 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독가능 기록 매체.

청구항 14

제13항에 따른 컴퓨터 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독가능 기록 매체로부터 컴퓨터 프로그램의 출력을 이용하도록 구성된 반도체 제조 장비로서, 상기 반도체 제조 장비는 반도체 웨이퍼 상으로의 직접 쓰기, 마스크 플레이트 상으로의 쓰기, 에칭, 화학적 또는 기계적 평탄화, 반도체 웨이퍼의 베이킹, 어닐링, 및 마스크 또는 반도체 표면의 검사 중 한 가지에 대해 구성되는, 반도체 제조 장비.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전자 또는 광 리소그래피의 분야에 적용된다. 본 발명은 그 밖의 다른 공정 중에서 마스크 쓰기(mask write) 및 직접 쓰기(direct write)에 적용된다. 본 발명은 반도체 제조 공정의 다른 단계, 가령, 나노각인(nanoimprint), DSA(Directed Self Assembly), 에칭, CMP(Chemical Mechanical Polishing/Planarization), 어닐링, 베이킹, 측량 등에도 적용될 수 있다.

배경 기술

[0002] 마스크 쓰기 또는 직접 쓰기의 공정 중에, 몇 가지 요인이 오차를 초래하고 예상 패턴 충실도의 성취를 막는다. 이들 요인 중 일부가 전자 산란(전방 및 후방 산란), 레지스트 확산, 레지스트 두께, 에칭, 화염, 연무, 측량

등이다. 분해능을 개선하고 이들 현상의 영향을 감소시키기 위해, 근접 효과 교정(PEC)(proximity effect correction), 연무 효과 교정(FEC)(fogging effect correction), 에칭 보상(etching compensation) 등의 몇 가지 전략이 존재한다. 전략은 선량 및/또는 지오메트리 보상을 이용해 이들의 교정의 각각의 효과가 미치는 영향의 예측을 기초로 한다. 따라서 교정의 품질은 현상을 예측하기 위해 사용되는, 제조 공정 별로 상이한 모델의 품질에 따라 달라진다. 모델 및 교정의 높은 정밀도가 확실히 획득될 수 있지만 높은 계산 비용이 수반된다.

[0003] 모델을 다음의 2개의 모델로 분해하는 것이 일반적인 지식이다: 전자 근접 효과의 교정을 계산하는 제1 모델 및 종종 잔여 모델 또는 레지스트 모델이라고 지칭되는 다른 나머지 교정을 계산하기 위한 제2 모델. 모델이 설계의 다양한 패턴 구성 간 차이를 정확히 나타내도록, 잔여 모델의 파라미터는 타겟 설계의 특성으로부터 계산되어야 한다. 스페이스(space), CD 및 밀도는 일반적으로 이들 차이의 우수한 표현을 제공하지만, 때때로 그 외 다른 것들, 가령, Granik (Y. Granik, N. Cobb, "New Process Models for OPC at sub-90nm Nodes", Optical Microlithography XVI, proc. SPIE vol 5040, 2010)에 개시된 탐사 변수(exploration variable)가 사용된다.

[0004] 잔여 모델에서 대표적 변수를 계산하기 위해 사용될 수 있는 톨이, 가령, Sato (S. Sato, K. Ozawa, and F. Uesawa, "Dry-etch proximity function for model-based OPC beyond 65-nm node", proc. SPIE vol 6155, 2006), 또는 Park (J.-G. Park, S.-W. Kim, S.-B. Shim, S.-S. Suh, and H.-K. Oh, "The effective etch process proximity correction methodology for improving on chip CD variation in 20 nm node DRAM gate", Design for Manufacturability through Design-Process Integration V, proc. SPIE vol 7974, 2011)에 개시된 시야 커널(visibility kernel)이다. 또한, US 특허 출원 공개 번호 US2010/269084 및 US2011/138343가 반도체 설계를 스캔하기 위한 시야 커널을 개시한 바 있다.

[0005] 이들 방법을 구현하기 위해, 시야 하에서 설계의 각각의 부분에 따라 변하는 한계 내에서 면적분을 계산할 것이 요구된다. 또한, CD 및 스페이스, 및 밀도가 모든 관심 지점에서 전체 면적분 계산을 요구하기 때문에 계산 횟수가 변수의 개수만큼 증배된다.

[0006] 따라서 변수의 정확한 표현을 제공하면서 계산 부하를 크게 완화하도록 커널 모델이 개선될 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명은 타겟 설계(target design)의 콘볼루션 곱에 의해 모델의 메트릭을 계산함으로써 그리고 편이 각(shift angle)을 이용하는 변형 함수에 의해 커널 함수(kernel function)가 배향되고 제조될 집적 회로의 설계 특징이 전체 설계에 걸친 콘볼루션을 이용해 계산되는 새로운 유형의 방법에 의해, 이 문제를 해결하고 컴퓨팅 작업부하를 완화시킨다.

[0008] 이를 위해, 본 발명은 컴퓨터에 의해, 타겟 설계에 의해 정의된 반도체 집적 회로를 제조하는 공정의 메트릭을 나타내는 벡터의 성분을 결정하는 방법을 개시하며, 상기 방법은 관심 지점(x, y)으로서 타겟 설계의 적어도 한 지점을 선택하는 단계, 관심 지점을 중심으로 갖는 커널 함수 K(r)를 선택하는 단계 - 상기 커널 함수는 반지름에 종속적임 -, 타겟 설계 전체에 걸쳐 타겟 설계와 커널 함수 K(r)와 변형 함수 $f_{x,y}(\theta, \varphi_{x,y})$ 합성의 콘볼루션을 계산하는 단계 - 상기 변형 함수는 관심 각과 선택된 편이 각 $\varphi_{x,y}$ 에 종속적임 -, 관심 지점 (x, y)에서의 콘볼루션 함수의 값으로부터 성분 V(x,y)의 값을 결정하는 단계를 포함한다.

[0009] 바람직하게는, 성분이 콘볼루션 함수로부터 결정된 관심 지점에서의 타겟 설계의 외부 밀도(external density)이며, 편이 각 $\varphi_{x,y}$ 이 관심 지점으로부터 설계의 부분 외부를 스캔하도록 선택된다.

[0010] 바람직하게는, 성분이 콘볼루션 함수로부터 결정된 관심 지점에서의 타겟 설계의 내부 밀도(internal density)이며, 편이 각 $\varphi_{x,y}$ 이 관심 지점으로부터 설계의 내부 부분을 스캔하도록 선택된다.

- [0011] 바람직하게는, 상기 편이 각 $\varphi_{x,y}$ '은 $\varphi_{x,y} + \pi$ 와 동일하다.
- [0012] 바람직하게는 커널 함수는 등방성 함수(isotropic function)이다.
- [0013] 바람직하게는, 커널 함수는 가우시안 함수이다.
- [0014] 바람직하게는, 변형 함수는 π 보다 높은 관심 각의 값에 대해 널(null)이도록 선택된 삼각 함수들의 합성이다.
- [0015] 바람직하게는, 변형 함수는 π 보다 높은 관심 각의 값에 대해 널(null)이도록 선택된 삼각 함수들의 제곱 및 제곱의 합성이다.
- [0016] 바람직하게는 변형 함수는 푸리에 급수 전개로 교체된다.
- [0017] 바람직하게는 푸리에 급수 전개는 n차로 전개되어, n차로 전개된 콘볼루션의 곱이, 타깃 설계에 적용될 교정의 공차 내에서 관심 지점 주위에서 불변이도록, n이선택된다.
- [0018] 바람직하게는, 변형 함수는 복수의 기본 커널 함수의 투사로 교체되며, 상기 기본 커널 함수는 타깃 설계에 걸쳐 편이 각 $\varphi_{x,y}$ 의 변동의 영역을 스캔하도록 선택되는 각 변형을 가진다.
- [0019] 바람직하게는 기본 커널 함수의 쌍은 편이 각 $\varphi_{x,y}$ 초과 및 미만인 2개의 선택된 기본 커널 함수가 각 변형을 갖도록 선택된다.
- [0020] 본 발명은 또한, 컴퓨터에 의해, 타깃 설계에 의해 정의된 반도체 집적 회로를 제조하는 공정의 메트릭을 나타내는 벡터의 성분을 결정하는 프로그램을 개시하며, 상기 프로그램은 관심 지점으로서 타깃 설계의 적어도 한 지점을 선택하는 단계, 관심 지점을 중심으로 갖는 커널 함수를 선택하는 프로그램 코드 - 상기 커널 함수는 반지름에 종속적임 -, 타깃 설계 전체에 걸쳐 타깃 설계와 커널 함수와 변형 함수의 합성의 콘볼루션을 계산하는 프로그램 코드 - 상기 변형 함수는 관심 각과 선택된 편이 각에 종속적임 -, 관심 지점에서의 콘볼루션 함수의 값으로부터 성분 V의 값을 결정하는 프로그램 코드를 포함한다.
- [0021] 본 발명은 또한 본 발명에 따르는 컴퓨터 프로그램의 출력을 이용하도록 구성된 반도체 제조 장비를 개시하며, 상기 반도체 제조 장비는 반도체 웨이퍼 상으로의 직접 쓰기, 마스크 플레이트 상으로의 쓰기, 에칭, 화학적 또는 기계적 평탄화, 반도체 웨이퍼의 베이킹, 어닐링, 및 마스크 또는 반도체 표면의 검사 중 한 가지에 대해 구성된다.
- [0022] 본 발명의 또 다른 이점은 변형 함수 대신, 적절한 차수의 푸리에 급수의 전개를 이용함으로써 콘볼루션 곱의 계산이 빨라질 수 있다는 것이다. 대안적으로, 각도 단위로의 투영을 이용한 콘볼루션 곱의 분해가 또한 계산 속도를 개선할 수 있다. 모든 경우에서, 콘볼루션 곱의 사용에 의해, 컴퓨팅 작업부하를 다시 완화하는 매우 효과적인 인수분해가 가능해진다. 또한 편이 각의 사용은 표면 적분의 사용이 거의 불가능한 자유 형태 설계에서 특히 바람직하다. 이 경우, 모델링될 설계의 윤곽을 따라갈 때 단순 규칙이 사용되어 최적 편이 각을 채용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 다양한 실시예의 기술 및 다음의 도면을 통해 본 발명 및 이의 다양한 특징 및 이점이 더 잘 이해되고 자명해질 것이다.
- 도 1a, 1b 및 1c는 종래 기술의 방법에서, 등방성 커널 함수 및 외부 가시 표면 및 내부 가시 표면을 형성하기 위한 이의 구현을 나타낸다.
- 도 2a, 2b 및 2c는 종래 기술의 방법에서, 이방성 커널 함수 및 외부 가시 표면 및 내부 가시 표면을 형성하기 위한 이의 구현을 나타낸다.
- 도 3a, 3b, 3c, 3d, 3e 및 3f는 각각 본 발명의 복수의 실시예에서, 배향된 커널, 외부 밀도 함수, 내부 밀도 함수, 콘볼루션에 의해 계산된 경우, 어떠한 편이 각도 없는 경우, 및 3개의 서로 다른 편이 각의 경우를 나타낸다.
- 도 4a, 4b, 4c 및 4d가 각각 변형 함수, 이의 4차 푸리에 급수, 2차 푸리에 급수 및 특정 각만큼 편이된 변형

함수를 각각 나타낸다.

도 5는 본 발명의 복수의 실시예에서 배향된 커널과 패터닝 설계의 콘볼루션의 곱을 투사하도록 사용되는 9개의 기본 커널 함수를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 도 1a, 1b 및 1c는 종래 기술의 방법에서, 등방성 커널 함수 및 외부 가시 표면 및 내부 가시 표면을 형성하기 위한 이의 구현을 나타낸다.

[0025] 도 1a는 반지름 R을 갖는 등방성 관심 영역(110a)을 도시한다.

[0026] 도 1b는 타깃 패턴의 세트(140b)를 갖는 관심 지점(120b)으로부터의 시야 영역(110a)의 교차부(130b)를 도시한다. 이 교차부는 이하에서 설명되는 바와 같이 타깃 패턴의 세트 외부에 있어서, 시야 영역(110a)의 표면에 대한 교차부(130b)의 표면의 비로서 스페이스 변수를 정의할 수 있다.

[0027] 도 1c는 타깃 패턴의 세트(140b)를 갖는 관심 지점(120b)으로부터의 시야 영역(110a)의 교차부(130c)를 도시한다. 이 교차부는 이하에서 설명되는 바와 같이 타깃 패턴의 세트 내부에 있어서, 시야 영역(110a)의 표면에 대한 교차부(130c)의 표면의 비로서 CD 변수를 정의할 수 있다.

[0028] 표면(130b, 130c)은, 반지름 및 각의 함수 $T(r, \theta)$ 및 가우시안 커널 함수 $K(r)$ 로 표현되는 타깃 설계의 콘볼루션의 시야 영역(110a) 내 이중 적분을 이용해 계산된다:

$$S = \iint K(r) \cdot T(r, \theta) \cdot dr d\theta$$

[0029] \iint 는 관심 지점으로부터 보는 시야 범위를 경계로 갖는 이중 적분이다. 도 1b, 1c에 도시된 바와 같이, 관심 지점이, 수 나노미터라도, 이동할 때 적분의 경계는 급격히 변한다. 따라서, 어떠한 분해(factorization)도 가능하지 않으며, 집중적인 계산을 위해 표면의 계산이 최적화될 수 없다.

[0031] 스페이스의 계산의 경우(시야 커널), 레이아웃의 평면 부분 내부에서 $T(r, \theta)$ 이 널(null)이고 그 밖의 다른 곳에 서는 0이 아니다.

[0032] CD의 계산의 경우(차단된 커널), 레이아웃의 평면 부분 외부에서 $T(r, \theta)$ 이 널(null)이고 그 밖의 다른 곳에서 는 0이 아니다.

[0033] 적분 영역이 관심 지점으로부터 가시적인 표면이다. 따라서 적분 영역의 한계가 레이아웃의 각각의 조각(즉, 관심 지점)에 따라 변하고 절차가 모든 관심 지점(복잡한 레이아웃의 경우 수십억 개만큼 존재할 수 있음)에 대해 반복되어야 한다.

[0034] 도 2a, 2b 및 2c는 종래 기술의 방법에서, 이방성 커널 함수 및 외부 가시 표면 및 내부 가시 표면을 형성하기 위한 이의 구현을 나타낸다.

[0035] 이들 도면은 이전 기술 실시예의 변형예를 나타내며, 이때, 각 θ 로 정의되는 변형 함수가 도입된다.

[0036] 도 2a는 시뮬레이션(210a)의 이방성 영역을 도시하며, 이는 반지름 R과 변형 각 θ 를 가진다.

[0037] 도 2b는 타깃 패턴의 세트(240b)를 갖는 관심 지점(220b)으로부터의 관심 영역(210a)의 교차부(230c)를 도시한다. 이 교차부는 타깃 패턴의 세트 외부에서 사용될 수 있어서, 관심 영역(210a)의 표면에 대한 교차부(230b)의 표면의 비로서 스페이스 변수를 정의할 수 있다.

[0038] 도 2c는 타깃 패턴의 세트(240b)를 갖는 관심 지점(220b)으로부터의 관심 영역(210a)의 교차부(230c)를 도시한다. 이 교차부는 이하에서 설명되는 바와 같이 타깃 패턴의 세트 내부에 있어서, 관심 영역(210a)의 표면에 대한 교차부(230c)의 표면의 비로서 CD 변수를 정의할 수 있다.

[0039] 표면(230b, 230c)은, 반지름 및 각의 함수 $T(r, \theta)$ 및 가우시안 커널 함수 $K(r)$ 및 변형 함수 $A(\theta)$ 로 표현되는 타깃 설계의 콘볼루션의 관심 영역(210a)의 서브세트 내 이중 적분을 이용해 계산된다:

$$S = \iint K(r) \cdot A(\theta) \cdot T(r, \theta) \cdot dr d\theta$$

[0040]

수정된 커널이 메트릭의 감도를 개선하더라도, 적분 계산 \iint 이 인수분해될 수 없기 때문에, 여전히 집중 계산에서 사용될 수 없다. 이 한계는 2개의 연속 패턴 설계 각각에 대한 적분의 경계의 근본적인 변경의 결과이다.

[0041]

이전 경우에서와 같이, 스페이스의 계산(시야 커널)을 위해, 레이아웃의 평면 부분 내부에서 $T(r, \theta)$ 이 널(null)이고 그 밖의 다른 곳에서는 0이 아니다.

[0042]

CD의 계산의 경우(차단된 커널), 레이아웃의 평면 부분 외부에서 $T(r, \theta)$ 이 널(null)이고 그 밖의 다른 곳에서는 0이 아니다.

[0043]

적분 영역이 관심 지점으로부터 가시적인 표면이다. 이 방법은 변형 함수 $A(\theta)$ 로 인해 도 1a, 1b 및 1c의 방법에 비해, 타겟 설계의 표현 정확도를 증가시킨다는 이점을 가진다. 이는 (형태 종속적일 뿐 아니라 방향 종속적인) IC 제조 공정의 대부분을 특징짓는 이방성을 더 잘 고려하기 때문이다. 그러나 이는 또한 동일한 단점을 가진다: 적분 영역의 한계가 레이아웃의 각각의 조각(즉, 각각의 관심 지점)에 따라 변하고 절차가 모든 관심 지점(복잡한 레이아웃의 경우 수십억 개만큼 존재할 수 있음)에 대해 반복되어야 한다.

[0044]

본 발명은 종래 기술의 이러한 방법들의 단점을 없앤다.

[0045]

도 3a, 3b 및 3c는 본 발명의 복수의 실시예에서, 배향된 커널, 외부 밀도 함수 및 내부 밀도 함수를 나타낸다.

[0046]

도 3a는 시뮬레이션(210a)의 이방성 영역을 도시하며, 이는 반지름 R과 변형 각 θ 를 가진다.

[0047]

도 3b는 타겟 패턴(340b)의 세트와의 관심 지점(320b)에서의 계산(310a)에 따른 영역의 교차부(330b)를 도시한다. 이 경우, 본 발명에 따르면, 일부 영역이 관심 지점으로부터 보이지 않더라도, 계산은 전체 계산 영역에 걸쳐 확장된다. 이하에서 설명될 바와 같이 외부 밀도를 정의하기 위해 계산의 결과가 사용된다.

[0048]

도 3c는 타겟 패턴(340b)의 세트와 관심 지점(320b)으로부터의 각도 $\phi = \pi$ 에 의해 회전되는 계산 영역(310a)의 교차부(330c)를 도시한다. 이 경우, 본 발명에 따르면, 일부 영역이 관심 지점으로부터 보이지 않더라도, 계산은 전체 계산 영역에 걸쳐 확장된다. 이하에서 설명될 바와 같이 내부 밀도를 정의하기 위해 계산의 결과가 사용된다.

[0049]

종래 기술과 달리, 외부 밀도 및 내부 밀도가 전체 타겟 설계에 걸쳐 콘볼루션 *에 의해 계산된다. 각각의 관심 지점(x,y)에 대해, 다음과 같은 배향된 커널 $N(x,y)$ 과 함수 $L(x,y)$ 로 나타나는 타겟 설계의 콘볼루션 곱 $V(x,y)$ 을 계산한다:

[0050]

$$V(x, y) = L(x, y) * N(x, y)$$

[0051]

콘볼루션 곱 계산은 다음과 같이 이뤄진다:

$$V(x, y) = \int_{-\infty-\infty}^{\infty+\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty+\infty} L(u, v) \cdot N(x-u, y-v) \cdot du \cdot dv$$

[0053]

[수학식 1]

이때, 배향된 커널 $N(u,v)$ 은 2개의 기여부분으로 나뉠 수 있다:

$$N(u, v) = K(\sqrt{u^2 + v^2}) \cdot f(a \tan(v/u) + \phi)$$

[0055]

이때:

$$K(\sqrt{u^2 + v^2}) \text{는 가우시안 커널 함수이고, } f(a \tan(v/u) + \phi) \text{는 변형 함수이다.}$$

[0057]

ϕ 각은 설계 상의 위치(x, y)에 따라 변하는 변형 함수의 편이 각(shift angle)이다.

[0058]

- [0059] φ 각은 기준으로서, 변형 함수가 이의 최대값에 도달하는 축을 가진다. 예를 들면, 도 3d, 3e 및 3f에 도시된 바와 같이, 기준 커널(도 3a)로부터 편이된 3개의 배향된 커널 구성을 도시한다. 편이 각의 범위는 $[0, 2\pi]$ 일 수 있다. φ 각은 (x,y) 위치에 대해 단 하나의 가능한 값을 가진다. 따라서 이는 각각의 $V(x,y)$ 계산에 대한 일정한 파라미터로 간주될 수 있다.
- [0060] 편의상, 이하의 기재에서, $N(u,v)$ 함수는 다음과 같이 극 좌표로 써질 것이다:
- [0061]
$$N(r,\theta) = K(r) \cdot f(\theta + \varphi)$$
- [0062] 여기서, 반지름 $r = \sqrt{u^2 + v^2}$, 및 $\theta = \arctan(v/u)$.
- [0063] 외부 밀도의 계산의 경우, $f(\theta + \varphi)$ 는 패턴 외부로 향하도록 커널이 배향되도록 구성된다. 실제로 φ 가 $\varphi + \pi$ 로 교체되는 경우, 추가 계산 비용 없이 내부 밀도가 외부 밀도와 동시에 계산될 수 있다.
- [0064] 마찬가지로, 내부 밀도의 계산의 경우, $f(\theta + \varphi)$ 는 커널이 설계 내부를 향해 배향되도록 구성된다. 실제로 φ 가 $\varphi + \pi$ 로 교체되는 경우, 추가 계산 비용 없이 외부 밀도가 내부 밀도와 동시에 계산될 수 있다.
- [0065] 편이 각 φ 이 관심 점에서부터 설계 상의 수직 측까지의 화각으로서 선택되며, 이는 추정 매트릭(스페이스 또는 CD)에 대한 콘볼루션의 곱의 감도를 최대화한다. Manhattan 패턴 설계(즉, 수직 라인을 갖는 설계)의 경우, 관심 점이 수직 라인의 오른쪽(왼쪽) 에지 상에 있고 관측이 각각 설계의 외부 또는 내부에서 이뤄질 때 적절한 편이 각이 $\pi/2$ ($3\pi/2$) 또는 $3\pi/2$ ($\pi/2$)일 것이다. 관심 점이 Manhattan 패턴 설계의 수평 라인의 하부(상부) 에지 상에 있을 때, 설계의 외부 또는 내부에 대한 관측이 이뤄질 때 적절한 편이 각이 $\pi(0)$ 또는 $0(\pi)$ 일 것이다.
- [0066] 더 일반적으로, 변형 함수의 편이 각 φ 이 패턴 설계(가령, Manhattan 또는 자유 형태)의 영역에 대해 최적인 것으로 선택되는 것이 선호되는 규칙이다. 관심 점을 패턴 설계의 에지를 따라 이동시킬 때, 에지의 법선이 정의될 수 있는(즉, 에지의 접선이 연속인) 영역에서, φ 는 기준 방향에 대한 법선의 각도로서 정의된다.
- [0067] 불연속점에서, 바람직한 실시예에서, 편이 각이 불연속점에서의 2개의 선분의 외각의 이등분선과 기준 방향 간 각으로 정의될 수 있다.
- [0068] 따라서 본 발명에 따르면, 종래 기술에서처럼 전체 설계에 대한 설계의 모든 부분들 상에서 수행되는 어떠한 표면 적분 절차도 존재하지 않는다. 전체 설계에 걸쳐 단일 콘볼루션 함수가 계산된다. 따라서 계산이 훨씬 더 효율적이다. 또한 외부 밀도와 내부 밀도 계산이 컴퓨터의 메모리에서 동시에 수행될 수 있다.
- [0069] 도 4a, 4b, 4c 및 4d가 각각 변형 함수, 이의 4차 푸리에 급수, 2차 푸리에 급수 및 특정 각만큼 편이된 변형 함수를 각각 나타낸다.
- [0070] 도 4a는 편이 각 φ 이 0인 변형 함수 $f(\theta + \varphi)$ 를 도시한다. 예를 들어, 변형 함수가 도면에 도시된 유형을 가질 수 있으며, 이때 함수 $f(\theta + \varphi)$ 는 구간 $[\pi, 2\pi]$ 내 θ 의 모든 값에 대해 0이고, $[0, \pi]$ 상에서 양수이며, $\theta = \pi/2$ 에 대해 최댓값이다. 이 경우, 바람직하게는 $f(\theta + \varphi)$ 가 절단된 기본 삼각 함수의 조합일 수 있다. 그러나 서로 다른 구간에 대해 서로 다른 값 또는 타겟 설계 및 모델링될 특정 프로세스에 따라 서로 다른 파워를 갖는 또 다른 함수가 선택될 수 있다. 예를 들어, 단순한 삼각 함수에 의해 허용되는 것보다 더 높은 지향성이 요구되는 경우, 바람직하게는 제곱 또는 세제곱 사인 또는 코사인 함수가 사용될 수 있다.
- [0071] 바람직하게는, 변형 함수 $f(\theta + \varphi)$ 가 이의 n차 푸리에 급수로 교체될 수 있고, 다음의 표현식으로 표현된다:

[0072]
$$f(\theta + \varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cdot \cos(n\theta + n\varphi) + b_n \cdot \sin(n\theta + n\varphi))$$
 [수학식 2]

[0073] 이때 푸리에 계수 a_n 및 b_n 가 다음의 공식에 의해 주어진다:

[0074]
$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta + \varphi) \cdot \cos(n\theta + n\varphi) d\theta$$
 [수학식 3]

[0075] 및

[0076]
$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\theta + \varphi) \cdot \sin(n\theta + n\varphi) d\theta$$
 [수학식 4]

[0077] 도 4b는 도 4a의 $\varphi=0$ 를 갖는 변형 함수 $f(\theta + \varphi)$ 가 4차 푸리에 급수에 의해 잘 근사됨을 보여준다. 그러나 특정 타겟 설계 및 모델링될 특정 공정에 따라 또 다른 차수가 선택될 수 있다.

[0078] 도 4c는 2차 푸리에 급수에 의한 동일한 변형 함수의 근사를 나타낸다. 도면은, 이 예시의 경우, 2차 전개가 꽤 정확할 수 있다. 바람직하게는, 복수의 대표적 패턴 설계에 걸쳐, 모델링될 교정의 공차 내 회전에 의해 근사가 불변으로 유지되도록 전개 차수가 선택될 것이다. 물론, 전개 차수가 낮을수록, 계산이 더 효율적일 것이다.

[0079] 도 4d는 편이 각이 0이 아닌 본 발명의 하나의 실시예를 도시한다.

[0080] 이 실시예에서, 앞서 언급된 바와 동일한 표기를 이용해, 배향된 메트릭 $V(x,y)$ 이 수학식 1에 의해 정의된다.

[0081] 푸리에 급수 전개 수식 2 및 3을 이용한 $V(x,y)$ 의 표현식을 전개하는 것이 다음의 수학식을 제공한다:

[0082]
$$V(x,y) = \sum_{n=0}^m ((a_n \cdot \cos(n\varphi) + b_n \cdot \sin(n\varphi)) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K(\sqrt{(x-u)^2 + (y-v)^2}) \cdot \cos(n \cdot a \tan((y-v)/(x-u))) \cdot L(u,v) \cdot dudv) \\ + (-a_n \cdot \sin(n\varphi) + b_n \cdot \cos(n\varphi)) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K(\sqrt{(x-u)^2 + (y-v)^2}) \cdot \sin(n \cdot a \tan((y-v)/(x-u))) \cdot L(u,v) \cdot dudv)$$
 [수학식 5]

[0083] 상기 표현식에서 적분은 각 φ 에 따라 달라진다. 따라서 수학식 5의 적분이 사전-계산되거나, 표에 저장되거나, 푸리에 급수 전개의 계수 a_n 및 b_n 및 φ 의 삼각 함수와 함께 $V(x,y)$ 의 계산에서 사용될 수 있다.

[0084] 도 5는 본 발명의 복수의 실시예에서 배향된 커널과 패턴링 설계의 콘볼루션의 곱을 투사하도록 사용되는 9개의 기본 커널 함수를 도시한다.

[0085] 앞서 언급된 푸리에 급수의 전개의 대안으로서, 콘볼루션 $V(x,y)$ 의 곱의 분해의 또 다른 토대. 이 예시적 실시예에서, 콘볼루션의 곱이 9개의 기본 커널 함수로 분해되고, 기본 커널 함수는 사인 또는 코사인 함수일 수 있으며 서로 다른 각으로 정의되는 그 밖의 다른 제곱 또는 세제곱 함수일 수 있다. 유한 편이 각에 대한 콘볼루션의 곱을 계산할 때, 편이 각의 각각의 측부 상의 각이 사용되어, 패턴링 설계의 기준 방향 상에 투영함으로써 콘볼루션의 곱을 계산할 수 있다.

[0086] 도면은 하나의 실시예만 도시하며, 예를 들어, 애플리케이션에 의해 요구되는 정밀도에 따라, 커널의 수가 3 또는 수십 개로 선택될 수 있다.

[0087] 본 발명의 방법은 반도체 IC의 제조 공정에서 많은 이용 경우에서 사용될 수 있다. 더 구체적으로, PSF(Point Spread Function)와 설계 간 콘볼루션인 제1 단계와 레지스트 임계치가 고려되는 제2 단계로 분해되는 시뮬레이션을 통해 근접도 효과 교정이 계산되는 방법을 교체하기 위해 특정 유형의 e-빔 리소그래피 공정에 적합하다. 임의의 유형의 공정 서명으로 조절될 수 있는 더 정밀한 레지스트 모델이 매우 효율적이다. 이는 특히, 에칭 후 및/또는 극자외선(EUV) 마스크가 사용될 때 전자빔 리소그래피 공정을 모델링하기 위한 경우이다. 이는 극자외선이 상당한 후방 산란 효과를 생성하는 중금속층(탄탈륨 또는 탄탈륨 니트라이드)에 의해 덮인다.

[0088] 또한, 동일 출원인에 의해 동일자로 출원된 유럽 특허 출원 "Method for determining the parameters of an IC manufacturing process by a differential procedure"에 의해 개시되는 차이 모델을 교정하는 데 본 발명의 메

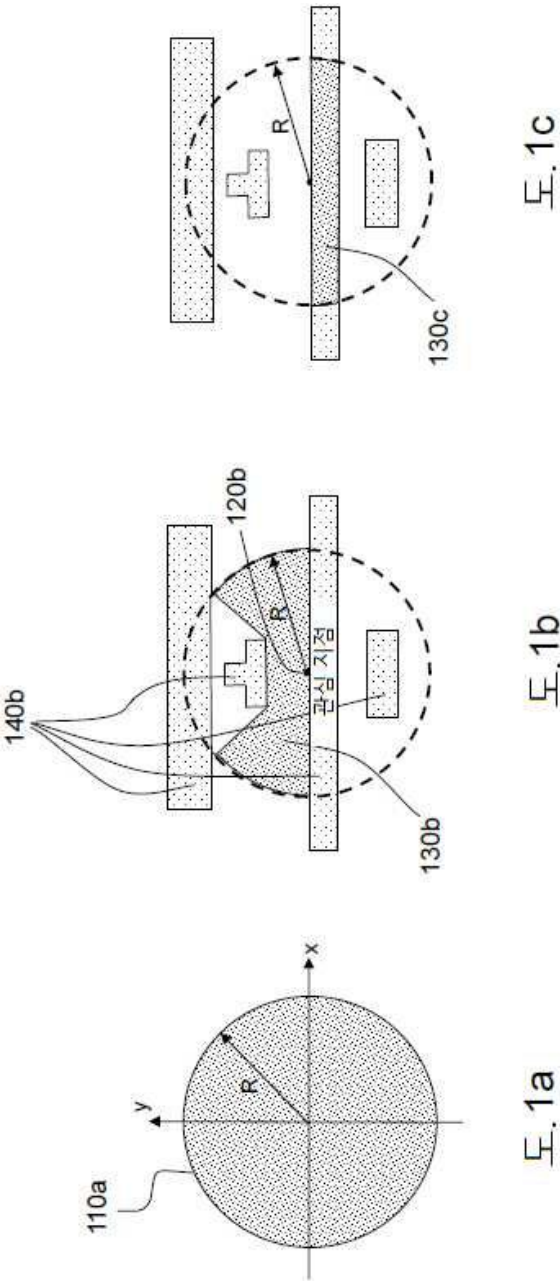
트릭이 사용될 수 있다.

이는 리소그래피 단계의 더 정밀한 모델이 필요할 때 또는 직접 쓰기 적용 시 유효하다.

본 명세서에 개시된 예시는 본 발명의 일부 실시예만 설명한다. 이들 예시는 다음의 청구항에 의해 규정되는 본 발명의 범위를 어떠한 식으로도 한정하지 않는다.

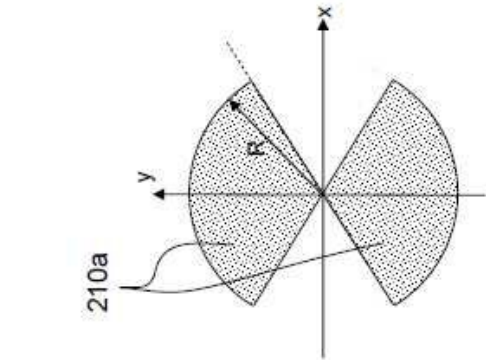
도면

도면1

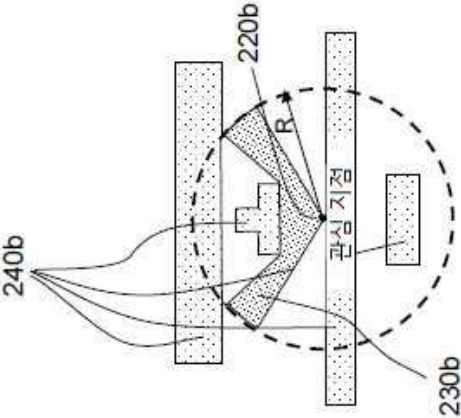


종래 기술

도면2

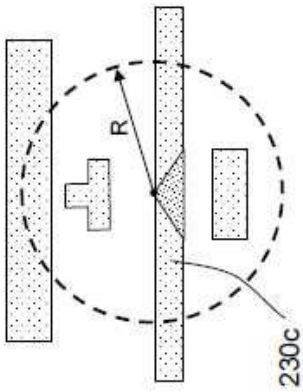


도.2a



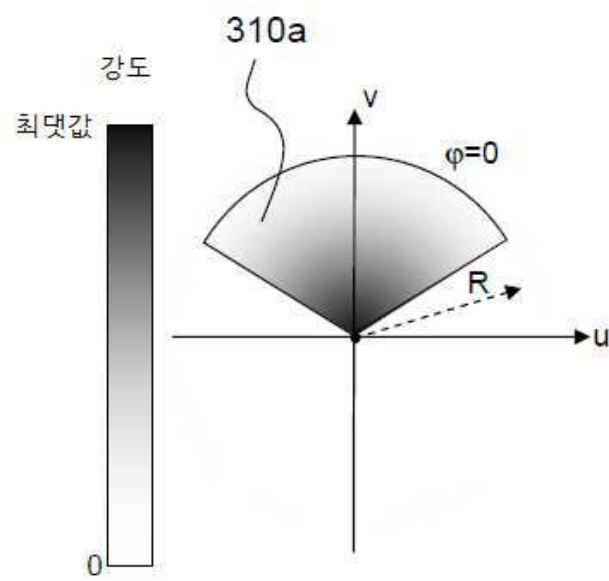
도.2b

종래기술

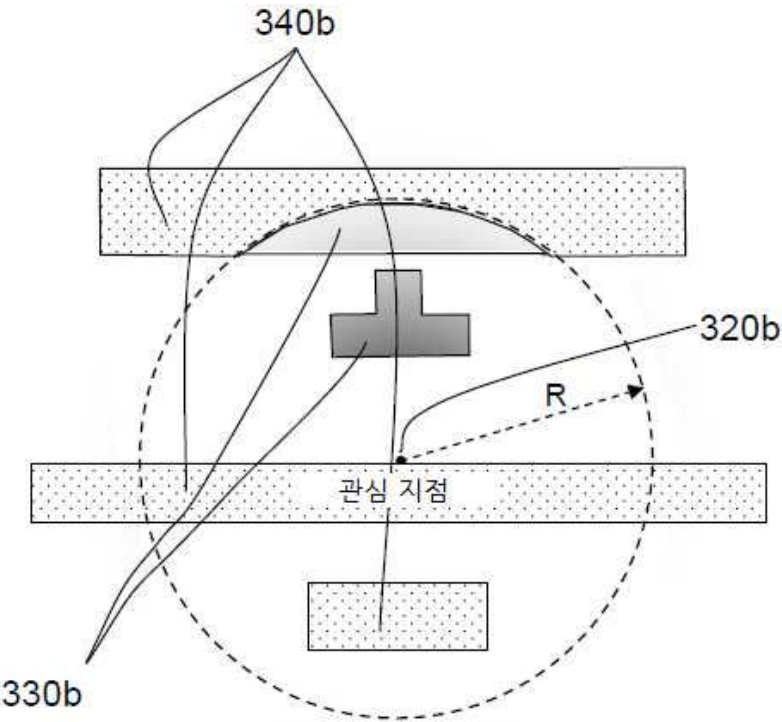


도.2c

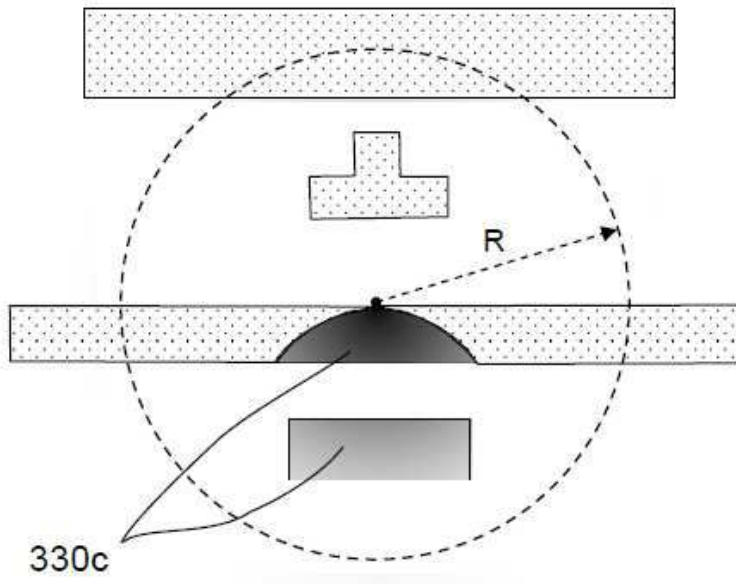
도면3a



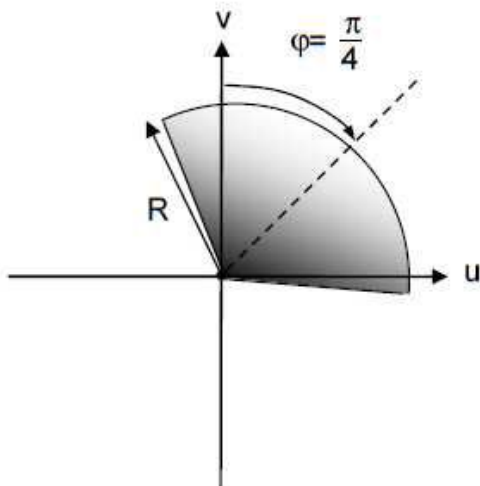
도면3b



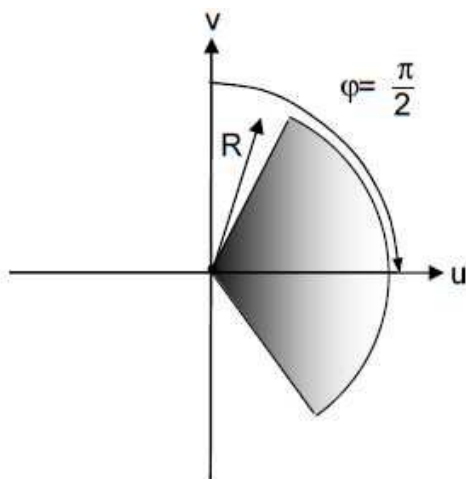
도면3c



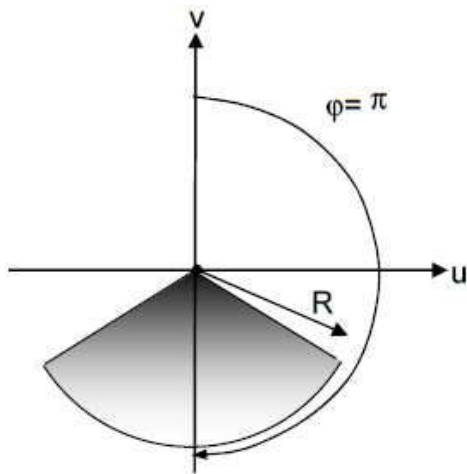
도면3d



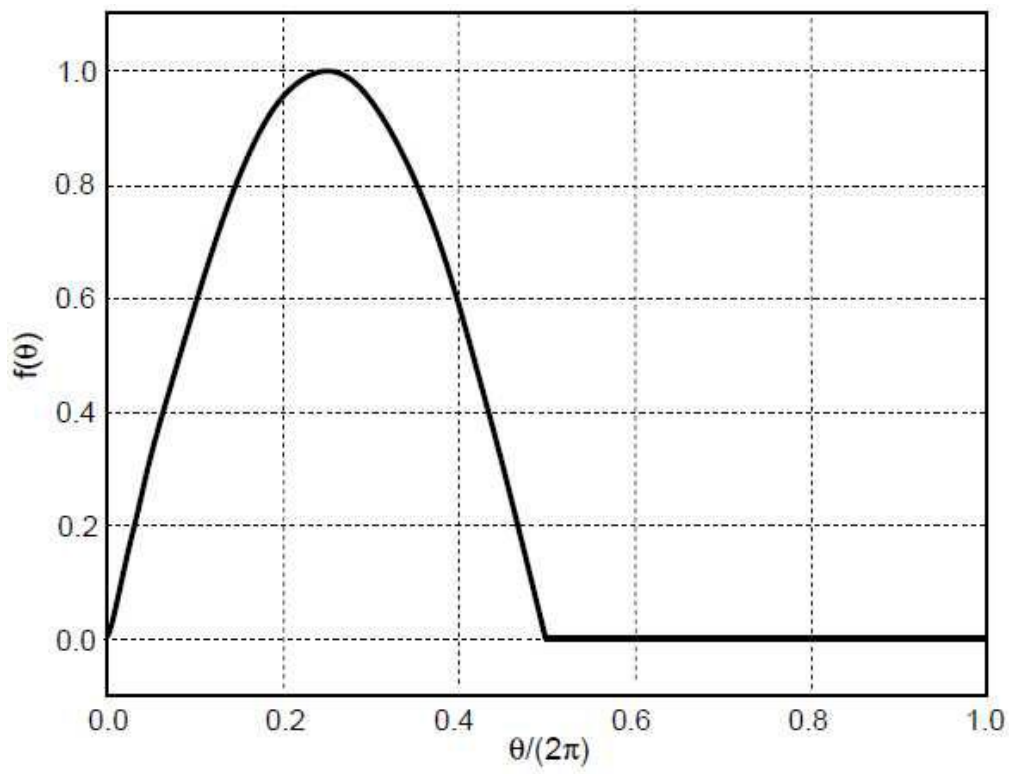
도면3e



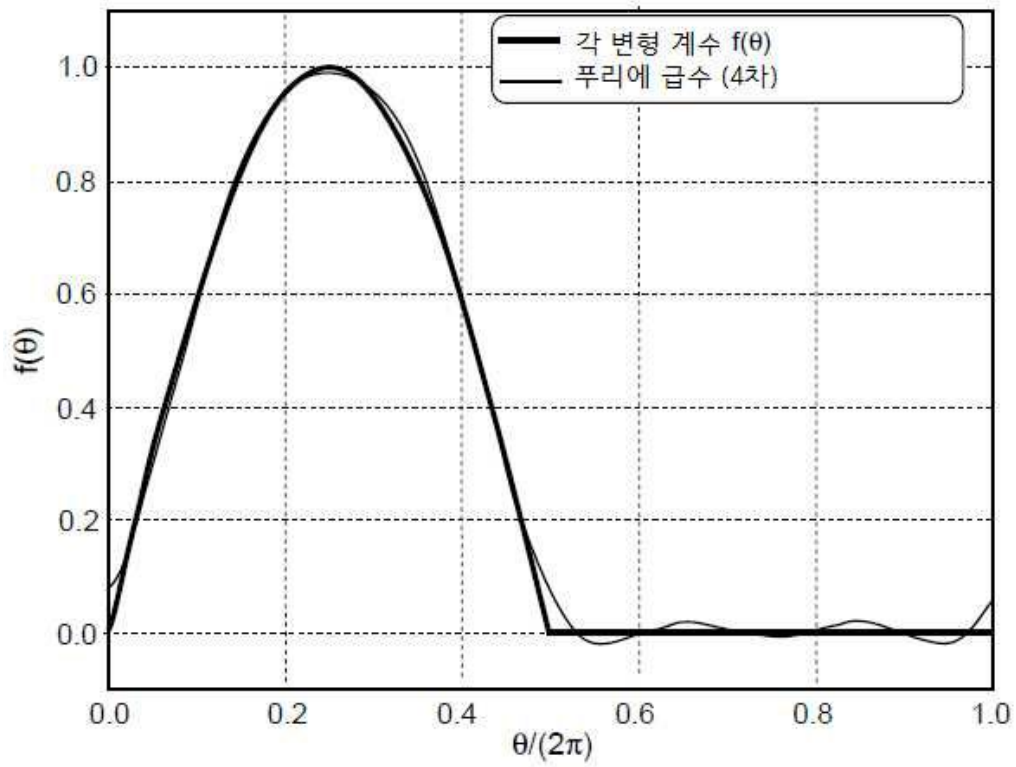
도면3f



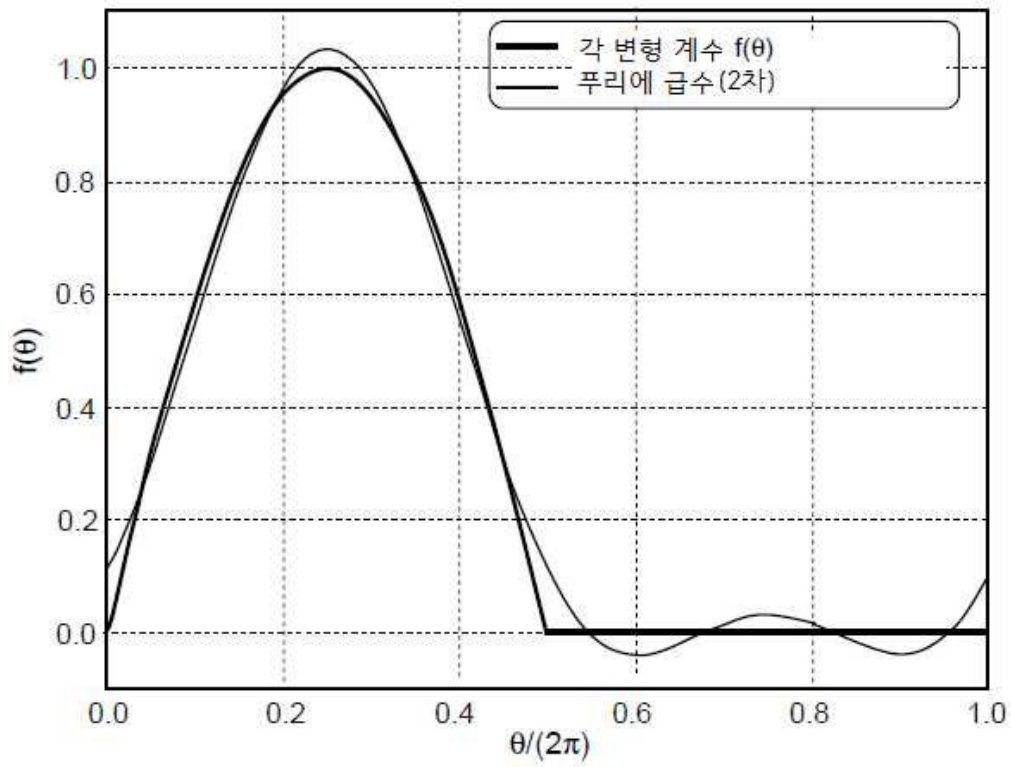
도면4a



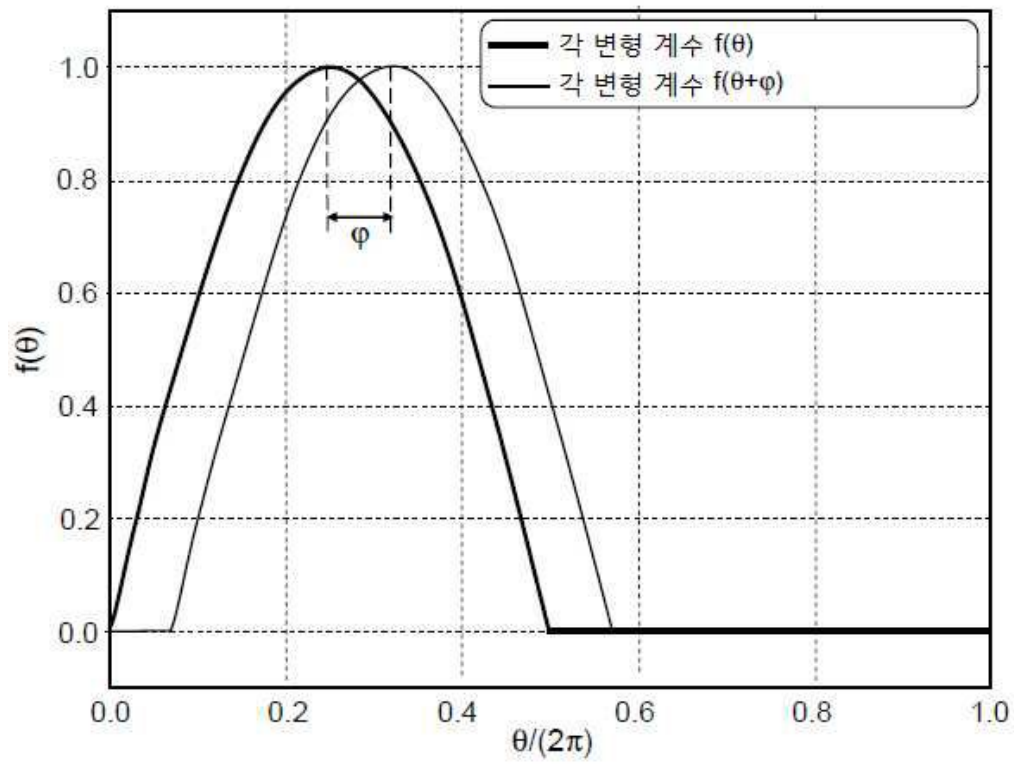
도면4b



도면4c



도면4d



도면5

