

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. ⁷ H01L 21/263	(45) 공고일자 2001년06월15일
	(11) 등록번호 10-0293003
	(24) 등록일자 2001년03월29일
(21) 출원번호 10-1998-0010563	(65) 공개번호 특 1998-0080733
(22) 출원일자 1998년03월26일	(43) 공개일자 1998년11월25일

(30) 우선권주장 97-75284 1997년03월27일 일본(JP)	(73) 특허권자 닛뽕덴끼 가부시끼가이샤 가네꼬 히사시
(72) 발명자 일본 도오교도 미나또꾸 시바 5초메 7방 1고 사와하따 고이찌	(74) 대리인 일본 도오교도 미나또꾸 시바 5초메 7방 1고 닛뽕덴끼 가부시끼가이샤 나이 특허법인코리아나 박해선, 특허법인코리아나 조영원

심사관 : 김용주

(54) 이온 주입 시뮬레이션을 위한 방법

요약

(1) 다층구조 기판에 대하여 직교 메쉬를 발생시키는 단계와, (2) 종방향 스트립을 얻는 단계와, (3) 종방향 스트립에서 불순물 분포를 나타내는 함수를 결정하는 단계와, (4) 불순물 분포를 나타내는 함수를 종방향 스트립의 각 셀의 범위에 서적분하고, 상기 적분값을 적분 범위로 나누어서, 상기 나눈결과를 셀 내의 불순물 농도로서 설정하는 단계와, (5) 횡방향 스트립을 얻는 단계와, (6) 횡방향 스트립의 불순물 분포를 횡방향으로 재분포하는 함수를 결정하는 단계와, (7) 재분포시키기 위한 함수를 횡방향 내의 각 셀의 범위에서 적분하고, 상기 적분결과를 적분 범위로 나누어서, 상기 나눈 결과를 셀 내의 불순물 농도로서 설정하는 단계를 구비하는 이온 주입 시뮬레이션 방법.

대표도

도 1

명세서

도면의 간단한 설명

제1(A)도 내지 제1(E)도는 본 발명의 제 1 및 제 2 실시예의 설명을 위한 2차원 기판에 이온 주입 시뮬레이션이 실행되는 경우를 보여주는 다이어그램이다.
제2도는 본 발명의 제 1 실시예에 따르는 과정을 보여주는 공정도이다.
제3도는 본 발명의 제 2 실시예에 따르는 과정을 보여주는 공정도이다.
제4a도는 본 발명의 제 2 실시예에 따라서 물질 1 에 대하여 정규화된 불순물 분포의 제한된 적분값의 테이블을 보여주는 다이어그램이다.
제4b도는 본 발명의 제 2 실시예에 따라서 물질 2 에 대하여 정규화된 불순물 분포의 제한된 적분값의 테이블을 보여주는 다이어그램이다.
제5도는 이온 주입 분포를 계산하기 위한 종래의 방법을 보여주는 다이어그램이다.
제6도는 시뮬레이션에 사용되는 메쉬 (mesh)를 보여주는 다이어그램이다.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 반도체 소자 제조 공정에서 주입된 불순물의 분포를 시뮬레이션하는 방법에 관한 것이며, 특히 도즈 (dose) 량이 유지되는 이온 주입 시뮬레이션 방법에 관한 것이다.

반도체 제조 분야에서, 소자의 특성을 경험적으로 혹은 실험적으로 측정하는 대신에, 공정 시뮬레이터를 가지고 불순물의 분포를 시뮬레이션하는 방법이 소자의 특성과 동작을 측정하기 위하여 사용된다. 분석식을 사용하는 2 차원 형태의 이온 주입을 시뮬레이션하는 방법은 J. Electrochem. Soc. : SOLID-STATE SCIENCE AND TECHNOLOGY, pp. 996-998(1986) 에 "큰 경사각 주입시 붕소원자의 깊이 형태" 로 개시되어 있다. 상기의 것에 따르면, 2 차원 형상에 대한 이온 주입의 분포 $C_{2d}(x,y)$ 는 다음의 수학적 식 1 에 의해

서 표현된다.

$$C_{2d}(x, y) = \sum C_i(y) \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{x-x_i}{\sqrt{2}\sigma_i} \right) - \operatorname{erfc} \left(\frac{x-x_{i+1}}{\sqrt{2}\sigma_i} \right) \right\}$$

여기서, $C_i(y)$ 는 i 번째 층에 대하여 계산된, 1 차원 구조에서의 이온 주입 분포를 나타내며, σ_i 은 1 차원의 이온 주입 분포를 기초로하여 2 차원의 이온 주입 분포를 계산하기 위한 횡방향 재분포용 표준편차를 나타내며, erfc 는 상보 오차 함수를 나타낸다.

1 차원 불순물 분포 $C_i(y)$ 는 다음의 Springer-Verlag Wien New York 의 "반도체 소자들의 분석 및 시뮬레이션"에서 설명된다.

1 차원 단일층 구조에서의 이온 주입 분포는 3 종류의 분석식에 의해서 표현될 수 있는데, 즉, 가우시안(Gaussian) 분포식, 결합된 가우시안 분포식 및 피어슨 (Pearson) 분포식이 그것이며, 여기서는 이온 주입 후 불순물의 분포를 특성화하고, 모멘트(moment) 라고 불리는 파라미터들 ($R_p, \sigma, \gamma, \beta$)를 사용한다. R_p 는 이온 주입후 불순물 분포의 평균 깊이를 가리키는 범위를 나타내며, σ 는 이온 주입 후 불순물 분포의 폭을 가리키는 편차를 나타내며, γ 는 분포의 왜곡을 가리키는 비대칭도를 나타내며, β 는 분포의 예리한 정도를 가리키는 컬토시스(kurtosis) 를 나타내며, 이들 파라미터들은 이미 실제적으로 측정된 프로파일등으로부터 얻는다. 이들 모멘트들은 주입 에너지, 도즈량, 기판물질, 이온형태 등의 조합에 따라서 결정된다.

여기서는, 예를 들어, 피어슨 분포가 다음에서 설명될 것이다. 피어슨 분포를 나타내는 함수 $I(y)$ 는 $R_p, \sigma, \gamma, \beta$ 를 사용하는 다음의 수학적식에 의해서 주어진다.

$$dI(y')/dy' = (y' - a)I(y')/(b_0 + ay' + b_2y'^2)$$

$$y' = y - R_p$$

$$a = -\sigma\gamma(\beta + 3)/A$$

$$b_0 = -\sigma^2\gamma(4\beta - 3\gamma^2)/A$$

$$b_2 = (-2\beta + 3\gamma^2 + 6)/A$$

$$A = 10\beta - 12\gamma^2 - 18$$

함수 $I(y)$ 는 그의 적분값이 1 이 되도록 정규화되며, 이온 주입시에 지정된 도즈량을 함수 $I(y)$ 에 곱하여서, 이온 주입후의 분포를 계산한다.

상술된 3 종류의 수학적식에 대신에, 두 개의 독립적인 피어슨 분포를 합산함으로써 얻어지는 듀얼(dual) 피어슨 분포가 사용될 수도 있다.

1 차원 다층구조에서 이온 주입 분포를 시뮬레이션하는 방법은, 1 차원의 2 층 구조에서의 이온 주입 분포에 대한 방법을 확장함으로써 얻을 수 있는데, 이것은 에이치 리셀(H.Rysse), 제이 로렌스(J.Lorens) 및 케이 호프만(K.Hoffmann) 의 Appl. Phys. A41, pp.201-207(1986) 의 "다층 목표물로 주입하기 위한 모델" 로서 개시되어 있다. 물질은 기판의 각 층에 대하여 정의되며, 각 물질에 대한 모멘트는 이미 주어져 있다. 그러므로, 정규화되어서 도즈량이 1 이 되어 있는 불순물 분포 $I(y)$ 는 각 층에 대하여 계산될 수 있다. 다층구조에 주입된 이온들의 분포를 시뮬레이션하기 위하여, 최상층을 제 1 층으로서 설정하며, k 번째 층에 대한 정규화된 불순물 분포를 수학적식 8 에 의해서 정의하며, 실질적인 불순물 분포는 수학적식 9 에 의해서 정의된다.

$$I_k(y - \sum_{i=1}^{k-1} t_i + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{t_i R_{pk}}{R_p})$$

$$D_k J_k(y - \sum_{i=1}^{k-1} t_i + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{t_i R_{pk}}{R_p})$$

여기서, t_i 는 i 번째 층의 두께를 나타내며, R_{pi} 는 i 번째 층에서의 범위를 나타낸다. R_{pk} 는 분포가 계산되기 위한 층 (예를 들어, k 번째 층) 의 범위를 나타낸다. D_k 는 k 번째 층의 도즈량을 나타내며, $(k-1)$ 번째 층에 도달할 때까지 소비된 부분 도즈량을 총 도즈량으로부터 감산함으로써 얻어진다.

분석 수학적 1 을 기초로 하여 계산된 불순물 분포는 산화, 확산 등에 대한 시뮬레이터로 통과된다. 후지 소고(Fuji Sogo) 연구소에 의해서 편집된, 히드테루 코이케(Hideteru Koike) 등에 의한 " 반도체 소자 디자인을 위한 시뮬레이션" 에 따르면, 산화, 확산 등을 위한 시뮬레이터에 의해서 조정되는 불순물 분포는 도 6 에 도시된 차분 메쉬 (differential mesh) 상에서 정의되어져 있다. 도 6 에서, a_i 는 x 방향을 따르는 차분메쉬의 폭을 나타내며, b_i 는 y 방향을 따르는 차분메쉬의 폭을 나타내며, h_i 는 x 방향을 따라서 결합된 메쉬들의 중심점 사이의 거리를 나타내며, k_i 는 결합하는 메쉬들의 중심점 사이의 거리를 나타낸다. 하나의 차분 메쉬는 "제어 용량" 으로 일컬어진다.

스칼라량인 불순물 농도는 예를 들어, 차분 메쉬의 중심점에서 정의된다. 그러므로, 도 5 의 스칼라량으로 정의되어 있는 좌표 $((x_i + x_{i+1})/2, (y_j + y_{j+1})/2)$ 에서의 불순물 분포 $C_{2d}((x_i + x_{i+1})/2, (y_j + y_{j+1})/2)$ 는 수학적 1 로부터 계산되며, 도 5 의 $((x_i + x_{i+1})/2, (y_j + y_{j+1})/2)$ 상에서 정의된다.

발명이 이루고자하는 기술적 과제

상술된 종래의 기술에서, 메쉬에 의해서 구획되어 있는 셀 상의 불순물 농도 (제어 용량) 는 수학적 1 에 의해서 주어진 셀의 중심점에서의 불순물 농도에 의해서 표현된다. 그러나, 중심점의 농도는 전체 셀의 불순물 농도를 정확하게 반영하지는 못한다. 그러므로, 도즈량을 계산하기 위하여 상술된 바와 같이 결정된 불순물 농도를 사용함으로써, 불순물 농도를 영역 전체 상에서 적분할지라도, 그렇게 계산된 도즈량은 미리설정된 도즈량과 일치되지 않는다. 따라서, 소자의 특성이 상기와 같이 결정된 불순물 농도를 기초로 하여서 추정될지라도, 소자의 특성을 정확하게 추정하는 것은 불가능하다.

따라서, 본 발명의 목적은 각 셀의 불순물 농도가 도즈량을 좀 더 정확하게 반영할 수 있도록 하는 것이며, 그것에 의해서 형성된 소자의 특성을 보다 정확하게 추정할 수 있게 하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

상술한 문제점은 메쉬들 사이에서 불순물 농도를 제공하는 함수를 적분하고, 상기 적분값을 적분범위로 나누어 얻은 값을 셀의 불순물 농도로서 설정함으로써 해결할 수 있다.

본 발명에 따르는, 이온 주입을 시뮬레이션하는 방법은 (1) 임의의 형태를 갖는 다층 구조로된 기판에 대하여 직교 (orthogonal) 메쉬를 발생시키는 단계(도 1(A)) 와, (2) 상기 직교 메쉬들 중의 횡방향 메쉬에 의해서 구획되어 있는 종방향 스트립을 얻는 단계 (도 1(B)) 와, (3) 상기 종방향 스트립 내의 불순물 분포를 나타내는 함수를 결정하는 단계(도 1(C)) 와, (4) 종방향 스트립의 불순물 농도를 나타내는 상기 함수를 상기 종방향 스트립의 각 셀의 범위에서 적분하고, 상기 적분 값을 적분 범위로 나누어서, 상기 나눈 결과를 상기 셀 내의 불순물 농도로서 설정하는 단계(도 1(B)) 및 도 1(C))와, (5) 상기 직교 메쉬 중 종방향 메쉬에 의해서 구획된 횡방향 스트립을 얻는 단계(도 1(D)) 와, (6) 횡방향 내의 상기 횡방향 스트립 내의 불순물 분포를 횡방향으로 재분포시키기 위한 함수를 결정하는 단계(도 1(E)) 와, (7) 재분포시키기 위한 상기 함수를 횡방향 내의 각 셀의 범위에서 적분하고, 상기 적분결과를 적분 범위로 나누어서, 상기 나눈 결과를 상기 셀 내의 불순물 농도로서 설정하는 단계 (도 1(D) 및 도 1(E))를 구비한다.

그러므로, 불순물 분포를 시작할 때의 도즈량은 시뮬레이션 하의 분포의 마지막 이후에도 유지된다. 즉, 시뮬레이션 결과는 도즈량을 반영하며, 소자의 특성은 좀 더 정확하게 추정될 수 있다.

본 발명에 따르는 바람직한 실시예는 첨부된 도면을 참조하여 설명될 것이다.

[제 1 실시예]

도 1(A) 내지 도 1(E) 는 본 발명의 제 1 실시예를 설명하기 위한 다이어그램이며, 도 2 는 제 1 실시예의 과정을 보여주는 공정도이다. 우선, 단계 S1 에서, 직교 메쉬가 도 1(A) 에 도시된 2 차원 기판에 대하여 발생된다. 이어서, 단계 S2 에서는, 단계 S1 에서 발생된 직교 메쉬 중 횡방향 메쉬 (x_i, x_{i+1}) 에 의해서 구획된 종방향 스트립을 얻는다(도 1(B)).

다음으로, 단계 S3 에서, 1 차원 다층 구조에 대한 이온 주입 분포가 제공되는 분석식 $C^y_i(y)$ 이 단계 S2 에서 얻은 종방향 스트립에 대해 적용된다. 도 1(B) 의 경우에, 물질 1 에 대한 모멘트가 $R_{p1}, \sigma 1, \gamma 1, \beta 1$ 에 의해서 표현되며, 물질 2 에 대한 모멘트가 $R_{p2}, \sigma 2, \gamma 2, \beta 2$ 에 의해서 표현되며, $I_1(y)$ 은 물질 1 에 대한 모멘트를 사용하는 피어슨 분포 (수학적 2 내지 수학적 7) 등에 의해서 주어진 분석식을 나타내며, 반면, $I_2(y)$ 는 물질 2 에 대한 모멘트를 사용하는 피어슨 분포, 듀얼 피어슨 분포 등에 의해서 주어진

분석식을 나타내며, 분석식 $C_i^y(y)$ 는 다음의 수학식 10 에 의해서 제공된다.

$$C_i^y = D_1 I_1(y) \quad (y_1 \leq y < y_3)$$

$$D_2 I_2(y - t_1 + t_1 R_{p2}/R_{p1}) \quad (y_3 \leq y < y_8)$$

여기서, t_1 은 물질 1 의 두께($y_3 - y_1$)를 나타낸다.

이어서, 단계 S4 에서, 불순물 분포를 제공하며, 단계 S3 에서 도입되는 도 1(C) 에 도시된 분석 수학식 10 은, 도 1(B) 에 도시된 것과 같은 종방향 메쉬(y_j, y_{j+1}) 에 의해서 구획된 한 셀의 종방향 범위에서 한 적분이 가해지며, 상기 적분 범위로 적분값을 나누어서 얻은 값을 관련된 셀의 불순물 농도로서 설정한다. 적분 계산은 가우시안 적분 등과 같은 수치적분을 근거로하여 실행된다. 도 1(B) 에서, 종방향 메쉬 (y_i, y_{i+1}) 에 의해서 구획된 셀에 등록된 불순물 농도 ($C_{i,j}$) 는 수학식 11 에 의해서 주어진다.

$$C_{i,j} = \frac{\int_{y_j}^{y_{j+1}} C^{y'}(y) dy}{y_{j+1} - y_j}$$

이어서, 단계 S5 에서는, 단계 S2, S3 및 S4가 메쉬상의 모든 셀에 대하여 불순물 농도 $C_{i,j}$ 를 계산하기 위하여 반복된다.

다음, 단계 S6 에서, 종방향 메쉬 (y_j, y_{j+1}) 에 의하여 구획된 횡방향 스트립을 도 1(D) 에 도시된 바와 같이 얻는다. 이어서, 단계 S7 에서, 불순물을 재분포시키기 위한 식 $C_i^x(x)$ 는 도 1(E) 에 도시된 것처럼 단계 S6 에서 얻은 횡방향 스트립의 모든 셀에 도입된다. 도 1(D) 에서, x_i 와 x_{i+1} 사이의 셀에서 불순물을 재분포시키기 위한 식 $C_i^x(x)$ 는 수학식 1 을 기초로하여 수학식 12 에 의해서 제공된다.

$$C_i^x(x) = \sum_{i'prime=1}^{n-1} C_{i'prime,i} \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left(\frac{x - x_{i'prime}}{\sqrt{2\sigma_i}} \right) - \operatorname{erfc} \left(\frac{x - x_{i'prime+1}}{\sqrt{2\sigma_i}} \right) \right\}$$

여기서, i 는 i' 에 의해서 대체되며, n 은 i (혹은 i') 의 최대값을 나타낸다.

이어서, 단계 S8 에서는 단계 S7 에서 유도된 횡방향으로의 재분포 식에는 횡방향의 각 셀의 범위에서의 정적분이 가해지며, 상기 적분값은 적분범위에 의해서 나누어지고, 각 셀에 대한 횡방향의 재분포 후에 농도 ($C_{i,j}$) 를 계산한다. $C_{i,j}$ 는 수학식 13 으로서 제공된다.

$$C_{i,j} = \frac{1}{(x_{i+1} - x_i)} \int_{x_i}^{x_{i+1}} C^{x'prime} dx$$

수학식 13 에서의 $C_i^x(x)$ 에 수학식 12 를 대입하면, $C_{i,j}$ 는 수학식 14 에 의해서 주어진다.

$$C_{i,j} = \frac{1}{2(x_{i+1} - x_i)} \cdot \sum_{i'prime=1}^{n-1} C_{i'prime,i} \left\{ \int_{x_i}^{x_{i+1}} \operatorname{erfc} \left(\frac{x - x_{i'prime}}{\sqrt{2\sigma_i}} \right) dx - \int_{x_i}^{x_{i+1}} \operatorname{erfc} \left(\frac{x - x_{i'prime+1}}{\sqrt{2\sigma_i}} \right) dx \right\}$$

여기서, 실제적인 적분계산은 가우시안 적분 등과 같은 수치적분을 근거로 하여 실행된다.

이어서, 단계 S9 에서, 단계 S6, S7 및 S8 의 과정은 메쉬 상의 모든 셀에 대한 불순물 농도를 계산하기 위하여 반복적으로 실행된다.

[제 2 실시예]

다음은, 본 발명의 제 2 실시예가 설명될 것이다.

도 3 은 본 발명의 제 2 실시예에 따르는 과정을 보여주는 공정도이다. 제 1 실시예의 설명에 사용된 도 1 은 제 2 실시예의 설명을 위하여 사용될 것이다. 우선 단계 P1 에서, 기판을 구비하는 모든 물질에 대한 불순물 분포의 정규화된 함수가 결정되며, 함수 각각에는 모든 함수 각각을 위한 테이블을 준비하기

위하여 정적분을 실행한다. 기판에 대한 각각의 정규화된 불순물 분포는 각 물질에 대하여 정의된 모멘트를 사용하는 피어슨 분포, 듀얼 피어슨 분포 등에 의해서 표현될 수 있다. 여기서, 도 1(A)의 물질 1에 대한 정규화된 불순물 분포가 제 1 실시예의 경우에서처럼, $I_1(y)$ 에 의해서 표현될 때, 물질 1에 대한 정적분값은 도 4a에 도시된 것처럼 테이블화 되어 있다. 도 4a에서의 적분에 있어서, r 은 정수를 나타내며, a 는 임의의 실수를 나타낸다. 수치열 y_1, y_2, y_3, \dots 는 수열등의 규칙적인 수치열이다. 또한, 테이블에 도시된 수학적 15의 실제적인 적분계산은 가우시안 적분등과 같은 수치 적분에 의해서 실행된다. 또한, 도 1(A)에 도시된 기판이 사용될 때, 유사한 테이블이 물질 2를 위하여 준비된다.

한편, 도 4b에 도시된 테이블은 본 실시예의 공정이 시작되기 전에 준비되어야만 한다.

$$\int_a^{y_r} I_1(y) dy$$

이어서, 단계 P2에서, 직교 메쉬는 제 1 실시예의 단계 S1의 경우에서처럼, 도 1(A)에 도시된 2차원 기판에 대하여 발생된다. 그런 후, 단계 P3에서, 단계 P2에서 발생한 직교 메쉬들 중에 횡방향 메쉬 (x_i, x_{i+1})에 의해서 구획된 종방향 스트립을 단계 S2의 경우에서처럼 얻는다(도 1(B)).

이어서, 단계 P4에서, 1차원 다층구조에 대한 이온 주입 분포를 제공하는 분석식 $C^y_i(y)$ 는 단계 S3의 경우에서처럼 단계 P3에서 얻은 종방향 스트립에 대하여 도입된다. 도 1(B)에 도시된 스트립에 대하여 도입된 식은 제 1 실시예와 유사하게 수학적 10과 동일하다.

이어서, 단계 P5에서, 단계 P4에 도입된 불순물 분포를 제공하는 분석식은 도 1(B)에 도시된 것처럼 종방향 메쉬에 의해서 구획된 한 셀의 종방향 범위 상에서 적분되며, 적분값은 적분 범위로 나뉘어져, 상기 나눈 결과를 단계 S4의 경우에서 고려된 셀의 불순물의 농도로서 설정한다. 도 1(B)에서, 종방향 메쉬 (y_j, y_{j+1})에 의해서 구획된 셀에 등록된 불순물의 농도($C_{i,j}$)가 제 1 실시예에서의 경우에서처럼 수학적 11에 의해서 주어진다. 상기 적분은 제 1 실시예에서의 가우시안 분포등과 같은 수치적분에 의해서 실행된다. 그러나, 본 실시예에서는, 상기 계산은 단계 P1에서 준비된 도 4a의 테이블을 사용하여 실행된다. 적분을 시작할 때, y_j 와 y_{j+1} 사이의 셀에서의 불순물 분포를 나타내는 함수 $C^y_i(y)$ 는 정규화된 불순물 분포와 도즈량에 의해서 표현된다. 만일 y_j 와 y_{j+1} 사이의 셀이 1차원구조의 k 번째 층에서 존재한다면, $C^y_i(y)$ 는 수학적 9를 근거로하여 수학적 16에 의해서 얻어진다.

$$C^y_i(y) = D_k I_k(y - \sum_{i=1}^{k-1} t_i + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{t_i R_{pk}}{R_{\rho_i}})$$

그러므로, 수학적 11은 수학적 17에 도시된 것처럼 다시 정리하면,

$$C_{i,j} = \frac{1}{y_{j+1} - y_j} D_k \int_{y_j}^{y_{j+1}} I_k(y - \sum_{i=1}^{k-1} t_i + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{t_i R_{pk}}{R_{\rho_i}}) dy$$

수학적 17의 적분부는 수학적 18에 도시된 것처럼 다시 쓰여질 수 있다.

$$\int_{y_j}^{y_{j+1}} I_k(y - \sum_{i=1}^{k-1} t_i + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{t_i R_{pk}}{R_{\rho_i}}) dy = \int_{y_j - \alpha}^{y_{j+1} - \alpha} I_k(y) dy$$

여기서

$$\alpha = \sum_{i=1}^{k-1} t_i - \sum_{i=1}^{k-1} \frac{t_i R_{pk}}{R_{\rho_i}} \quad \text{이다.}$$

또한, 수학적 18은 수학적 19에 도시된 것처럼 다시 쓰여질 수 있다.

$$\int_{y_j - \alpha}^{y_{j+1} - \alpha} I_k(y) dy = \int_a^{y_{j+1} - \alpha} I_k(y) dy - \int_a^{y_j - \alpha} I_k(y) dy$$

수학적 19의 우측의 제 1 및 제 2 항은 도 4a의 테이블로부터 삽입되었으며, 수학적 11 혹은 17의 적

분부를 계산하기 위하여 수학적 식 18 및 수학적 식 19 로 대체되어서, $C_{i,j}$ 를 계산한다. 삼입이 실행될 때, 부등식, $y_r \leq y_{j+1}-a < y_{r+1}$ 또는 $y_r \leq y_j-a < y_{r+1}$ 을 만족하는 r 을 계산하는 것이 필요하다. y_r 은 수열 등과 같은 규칙적인 수치열이기 때문에, r 의 값이, 예를 들어, $y_{j+1}-a$ 혹은 y_j-a 를 수치열 y_r 의 간격에 의해서 나눔으로서 1 회의 계산에 의해서 결정될 수 있다.

다음, 단계 P6 에서, 단계 P3, P4 및 P5 의 과정은 메쉬 상의 모든 셀에 대하여 불순물 농도를 계산하기 위하여 반복적으로 실행된다.

이어서, 단계 P7 에서, 종방향 메쉬 (y_j, y_{j+1}) 에 의해서 구획된 횡방향 스트립이 단계 S6 의 경우에서처럼 얻어진다. 이어서, 단계 P8 에서, 불순물을 재분포시키기 위한 식 $C_j^x(x)$ 는 단계 S7 에서처럼 단계 P7 에서 얻은 횡방향 스트립에서의 모든 셀에 대하여 도입된다. 도 1(D) 에서, x_i 와 x_{i+1} 사이의 셀의 불순물을 재분포시키기 위한 식 $C_j^x(x)$ 는 제 1 실시예의 경우에서처럼 수학적 식 12 로 설정된다. 다음으로, 단계 P9 에서, 단계 P8 에서 도입된 횡방향에서 재분포시키기 위한 식은 횡방향의 각 셀의 범위에서 적분되며, 상기 적분값은 횡방향에서 재분포된 후에, 농도 $C_{i,j}$ 를 계산하기 위한 값을 결정하기 위하여 적분 범위에 의해서 나누어지며, 그것에 의해서 횡방향의 재분포 후의 농도 ($C_{i,j}$) 가 제 1 실시예의 경우처럼 수학적 식 14 로부터 결정된다. 제 1 실시예에서, 수학적 식 14 의 적분은 가우시안 적분 등과 같은 수치적분에 의해서 실행되었다. 그러나, 본 실시예에서의 적분계산은 가우시안 적분 등에 의해서 b 에서 x_m 까지의 $\int \text{erfc}(x)dx$ 의 정적분을 계산함으로써 얻은 도 4b 에 도시된 테이블을 사용하여 실행된다. 여기서, m 은 정수를 나타내며, b 는 임의의 실수를 나타낸다. 또한, 종방향의 분포에 대한 테이블의 경우와 마찬가지로, 수치열 x_m 은 이미 규칙적인 수치열로 설정되어 있다. 수학적 식 14 의 적분부는 수학적 식 20, 21, 22 및 23 에 도시된 것처럼 순차적으로 다시 쓰여진다.

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} \text{erfc}\left(\frac{x-x_r}{\sqrt{2}\sigma_1}\right)dx = \sqrt{2}\sigma_1 \int_{\frac{x_i-x_r}{\sqrt{2}\sigma_1}}^{\frac{x_{i+1}-x_r}{\sqrt{2}\sigma_1}} \text{erfc}(x)dx$$

$$\int_{x_i}^{x_{i+1}} \text{erfc}\left(\frac{x-x_{r+1}}{\sqrt{2}\sigma_1}\right)dx = \sqrt{2}\sigma_1 \int_{\frac{x_i-x_{r+1}}{\sqrt{2}\sigma_1}}^{\frac{x_{i+1}-x_{r+1}}{\sqrt{2}\sigma_1}} \text{erfc}(d)dx$$

$$\sqrt{2}\sigma_1 \int_{\frac{x_i-x_r}{\sqrt{2}\sigma_1}}^{\frac{x_{i+1}-x_r}{\sqrt{2}\sigma_1}} \text{erfc}(x)dx$$

$$= \sqrt{2}\sigma_1 \int_b^{\frac{x_{i+1}-x_r}{\sqrt{2}\sigma_1}} \text{erfc}(x)dx - \sqrt{2}\sigma_1 \int_b^{\frac{x_i-x_r}{\sqrt{2}\sigma_1}} \text{erfc}(x)dx$$

$$\sqrt{2}\sigma_1 \int_{\frac{x_i-x_{r+1}}{\sqrt{2}\sigma_1}}^{\frac{x_{i+1}-x_{r+1}}{\sqrt{2}\sigma_1}} \text{erfc}(x)dx$$

$$= \sqrt{2}\sigma_1 \int_b^{\frac{x_{i+1}-x_{r+1}}{\sqrt{2}\sigma_1}} \text{erfc}(x)dx - \sqrt{2}\sigma_1 \int_b^{\frac{x_i-x_{r+1}}{\sqrt{2}\sigma_1}} \text{erfc}(x)dx$$

수학적 식 22 및 23 의 정적분값은 도 4b 의 테이블로부터 대입되어서, 횡방향에서의 재분포 후에, 불순물 분포 ($C_{i,j}$)를 계산한다.

이어서, 단계 P10 에서는, 단계 P7, P8 및 P9 의 과정이 메쉬상의 모든 셀의 불순물 농도를 계산하기 위하여 반복적으로 실행된다.

제 2 실시예에서, 각 셀에서의 불순물 농도를 계산하기 위한 적분은 수치적분에 의해서 실행되지 않으며, 테이블을 근거로한 삼입구에 의해서 실행된다. 그러므로, 계산 시간은 제 1 실시예와 비교하여 좀더 단축될 수 있다. 예를들어, 도 1(A) 에 도시된 2 차원 메쉬의 수가 종방향 및 횡방향 양자에서 100 일 때, 셀의 수는 10,000 이며, 종방향으로의 분포만을 계산하기 위하여 적분이 10,000 회 수행되어야만 한다. 만일 테이블을 준비하기 위한 적분회수의 수가 약 수백번으로 감소된다면, 제 2 실시예에서 필요한 적분회수의 수는 제 1 실시예와 비교하여 약 수십분의 일에서 백분의 일로 감소된다.

상술된 것처럼, 본 발명의 이온 주입 시뮬레이션 방법에 따라서, 종방향 스트립에 대하여 계산된 불순물 분포 함수는 종방향의 스트립의 각 셀의 범위에서 적분되며, 그 적분결과는 적분 범위에 의해서 나누어지고, 상기 나눈 결과는 셀의 불순물 농도로서 설정된다. 그런 후, 그렇게 계산된 불순물 농도를 근거로 하여 계산된 횡방향에서의 재분포 함수는 횡방향에서의 각 셀의 범위 상에서 적분되며, 상기 적분결과는 횡방향에서의 각 셀의 범위에 의해서 나누어지고, 그것에 의해서 불순물의 분포가 결정된다. 그러므로, 불순물의 분포가 시작되는 때의 도즈량은 시뮬레이션 상태에서 불순물의 분포의 최종단계 이후에도 유지된다. 따라서, 본 발명에 따라서, 시뮬레이션 결과는 도즈량을 반영하며, 이온 주입을 사용하여 제조된 반도체 소자의 특성은 좀 더 정확하게 추정될 수 있을 것이다.

바람직하게는, 본 발명은 중앙처리장치, 주메모리, 제 2 메모리 및 중앙처리장치, 주메모리 및 제 2 메모리에 접속된 버스를 구비하는 컴퓨터 시스템에서 실행되는 컴퓨터 프로그램이다. 컴퓨터 프로그램은 제 2 메모리에 저장된다. 상기 컴퓨터 프로그램은 실행동안 주메모리에 유지된다. 컴퓨터 프로그램은 중앙처리 장치가 상기 함수 혹은 상술된 방법을 실행하도록 하는 지시를 포함한다.

발명의 효과

본 발명에 따르면, 반도체 소자의 특성을 결정하기 위한 시뮬레이션은 도즈량을 반영하여, 이온 주입시 좀 더 정확하게 반도체 소자의 특성을 추정할 수 있다.

본 발명은 최우량의 실시예에 관하여 설명되었으나, 본 발명은 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위에서, 당업자에 의해서 다양한 다른 변화, 생략 및 부가가 될 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

- (1) 임의의 형태를 갖는 다층구조 기판에 대하여 직교 메쉬들을 발생시키는 단계;
- (2) 상기 직교 메쉬들 중에서 횡방향 메쉬들에 의해서 구획된 종방향 스트립을 얻는 단계;
- (3) 상기 종방향 스트립에서의 불순물 분포를 나타내는 함수를 결정하는 단계;
- (4) 상기 종방향 스트립에서의 불순물 분포를 나타내는 상기 함수를 상기 종방향 스트립의 각 셀의 범위에서 적분하고, 상기 적분값을 적분 범위로 나누어서, 그 나눈 결과를 상기 셀에서의 불순물 농도로서 설정하는 단계;
- (5) 상기 직교 메쉬들 중에서 종방향 메쉬들에 의해서 구획된 횡방향 스트립을 얻는 단계;
- (6) 상기 횡방향 스트립에서의 불순물 분포를 횡방향으로 재분포시키기 위한 함수를 결정하는 단계; 및
- (7) 상기 재분포시키기 위한 함수를 횡방향에서의 각 셀의 범위에서 적분하고, 상기 적분결과를 적분 범위로 나누어서, 상기 나눈 결과를 상기 셀에서의 불순물 농도로서 설정하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 이온 주입 시뮬레이션 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 (1) 단계 전에 상기 종방향 스트립에서의 불순물 분포를 나타내는 상기 함수의 소정의 피치마다, 정적분값을 지시하는 종방향 스트립용 테이블을 생성하는 단계를 또한 구비하며, 상기 (4) 단계에서 상기 셀에서의 상기 불순물 농도는 상기 종방향 스트립용 테이블에서의 상기 정적분값을 사용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 이온 주입 시뮬레이션 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 종방향 스트립에서의 불순물 분포를 나타내는 상기 함수가 정규화된 함수인 것을 특징으로 하는 이온 주입 시뮬레이션 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 (1) 단계 전에 상기 횡방향 스트립에서의 불순물 분포를 횡방향으로 재분포시키기 위한 상기 함수의 적분을 계산하기 위하여 사용되는 상기 횡방향 스트립용 테이블을 생성하는 단계를 또한 구비하며, 상기 횡방향 스트립에서의 각 셀의 상기 불순물 농도가 상기 (7) 단계에서 결정될 때, 상기 계산은 상기 횡방향 스트립용 테이블을 참조함에 의하여 실행되는 것을 특징으로 하는 이온 주입 시뮬레이션 방법.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 (1) 단계 전에 상기 횡방향 스트립에서의 불순물 분포를 횡방향으로 재분포시키기 위한 상기 함수의 적분을 계산하기 위하여 사용되는 상기 횡방향 스트립용 테이블을 생성하는 단계를 또한 구비하며, 상기 횡방향 스트립에서의 각 셀의 상기 불순물 농도가 상기 (7) 단계에서 결정될 때, 상기 계산은 상기 횡방향 스트립용 테이블을 참조함에 의하여 실행되는 것을 특징으로 하는 이온 주입 시뮬레이션 방법.

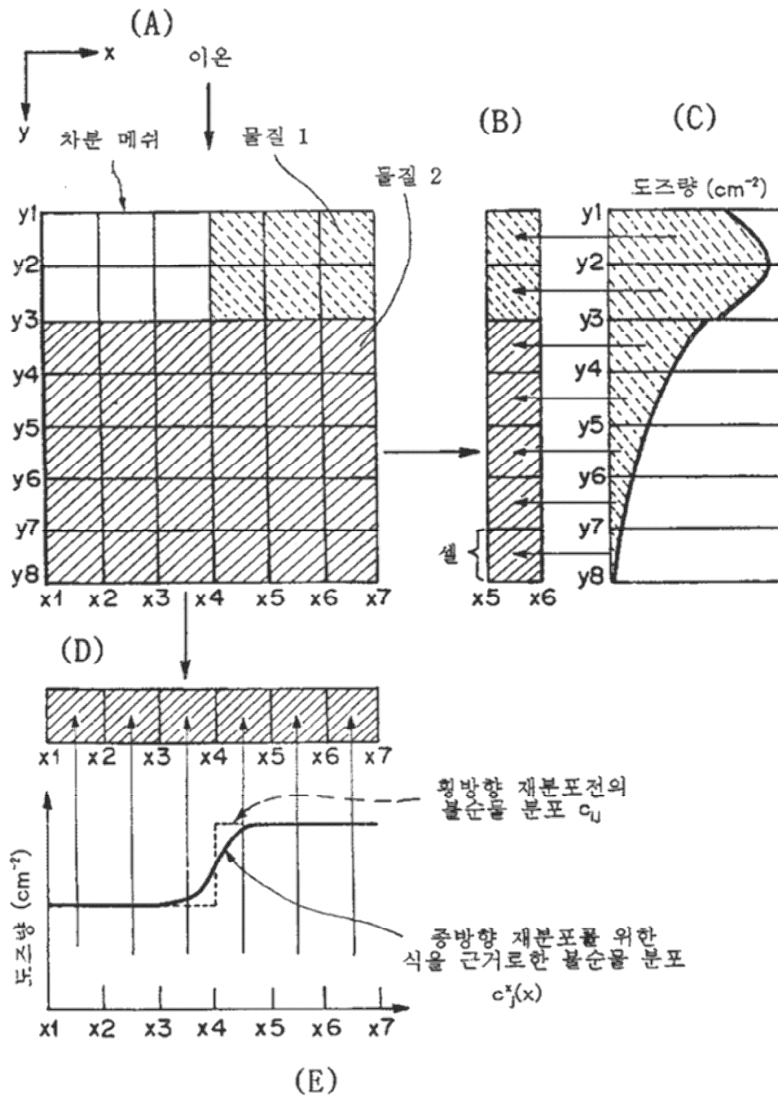
청구항 6

제3항에 있어서, 상기 (1) 단계 전에 상기 횡방향 스트립에서의 불순물 분포를 횡방향으로 재분포시키기 위한 상기 함수의 적분을 계산하기 위하여 사용되는 상기 횡방향 스트립용 테이블을 생성하는 단계를 또한 구비하며, 상기 횡방향 스트립에서의 각 셀의 상기 불순물 농도가 상기 (7) 단계에서 결정될 때, 상기 계산은 횡방향 스트립용 상기 테이블을 참조함에 의하여 실행되는 것을 특징으로 하는 이온 주입

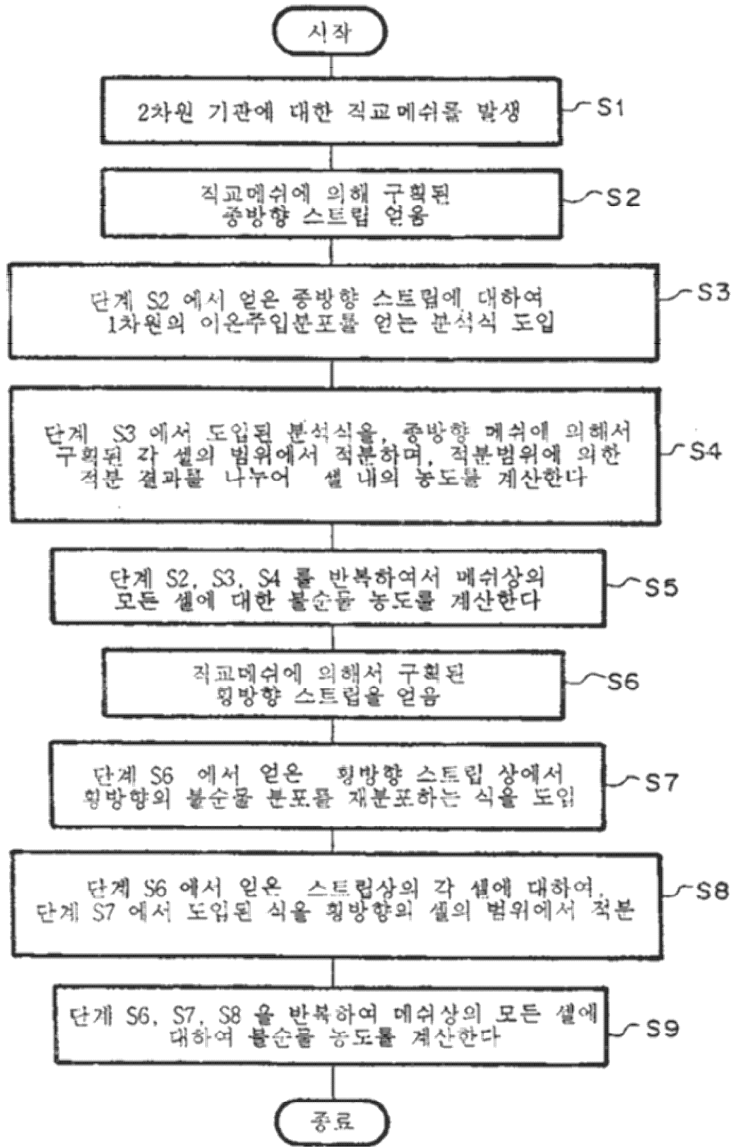
시뮬레이션 방법.

도면

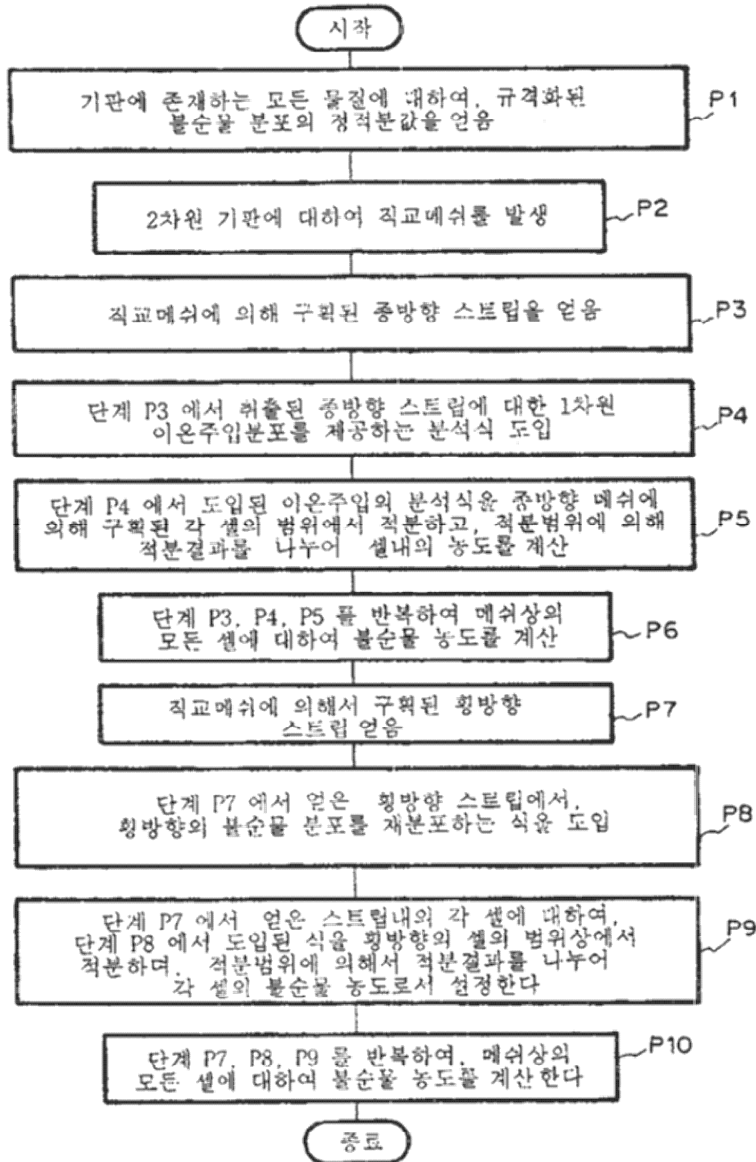
도면1



도면2



도면3



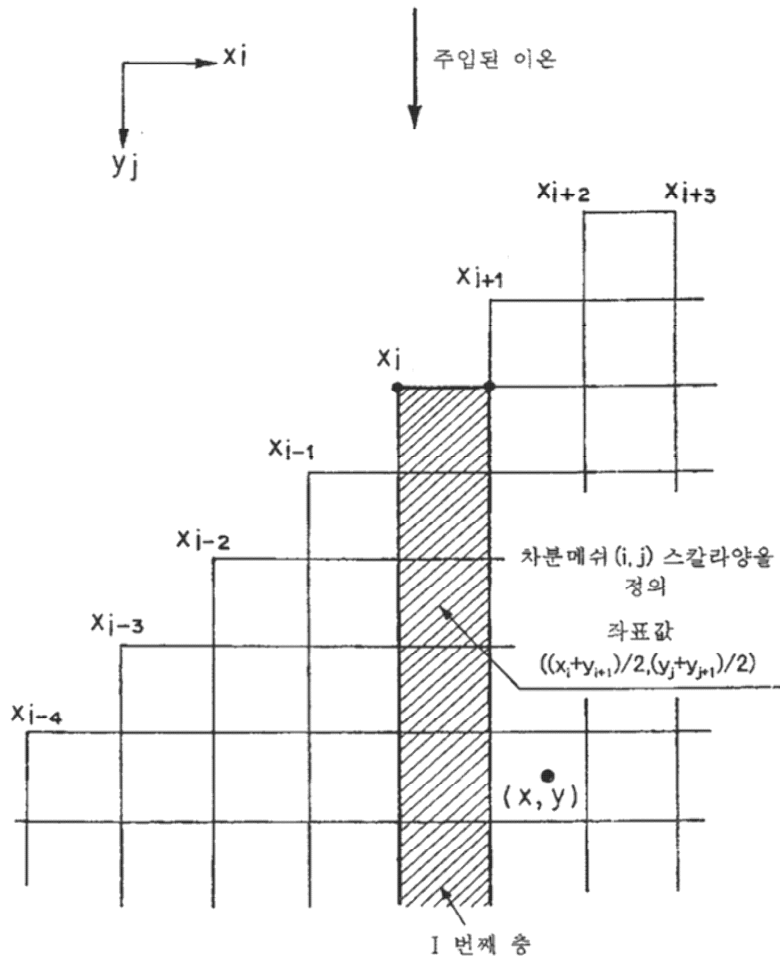
도면4a

y	$\int_a^y I_1(y)dy$
•	•
•	•
•	•
•	•
y_r	$\int_a^{y_r} I_1(y)dy$
•	•
•	•
•	•
•	•

도면4b

x	$\int_b^x \text{erfc}(x)dx$
•	•
•	•
•	•
•	•
x_m	$\int_b^{x_m} \text{erfc}(x)dx$
•	•
•	•
•	•
•	•

도면5



도면6

