

기술명 : 10um 이하 미세 선폭 인쇄방법

IPC : B41M 1/10|B41F 9/06|B41F 17/00

발명자 : 건국대학교 이종수

#### 요 약

본 발명은 롤투를 그라비어 연속 인쇄 공정을 이용한 10um 이하 미세 선폭 인쇄방법을 제공한다. - 도1

#### 청구범위

##### 청구항 1

롤투를 그라비어 연속 인쇄 공정을 이용한 10um 이하 미세 선폭 인쇄방법.

#### 기 술 분 야

본 발명의 실시예들은 인쇄방법에 관한 것으로서, 더 상세하게는 롤투를 그라비어 연속 인쇄 공정을 이용한 10um 이하 미세 선폭 인쇄방법에 관한 것이다.

#### 배 경 기 술

기존의 반도체 공정(Photolithography process)은 Glass 및 Si Wafer 기반 딱딱한 기판 위에 진공공정을 이용 하여, 크린룸에서 증착 및 노광 과정을 반복적으로 수행하여 전자소자 및 전자제품을 생산하는 고정밀 공정이다. 반면, 인쇄전자 공정(Printed electronics process)은 종이, 섬유, 플라스틱 필름, 호일 등의 유연한 기판 위에 인쇄 공정을 통해 식각 및 노광 과정 없이 상온에서 원하는 위치에 원하는 형상을 인쇄함으로써, 기 존의 반도체 공정에서 사용하고 버리는 화학약품 재료 등의 사용량을 대폭 줄일 수 있는 환경 친화적인 공정이다. 인쇄 전자 기술의 응용 분야로는 RFID Tags, OTFT, OPV, Transistor, OLED, Sensor, Battery, Display 등의 다 양한 전자 소자 분야에 적용 가능하다.

#### 해결하려는 과제

그러나 이러한 종래의 인쇄 기술에는 미세 선폭의 인쇄가 어렵거나 고비용이 소요된다는 문제점이 있었다. 즉, 그라비어 롤 패터닝 시 레이저 가공 후 화학적 에칭 (etching)을 수행하여 패턴 폭을 넓히고 패턴 가장자리부터 중심부까지 패턴 깊이를 완만하게 증가시키는 기법을 사용할 경우, 에칭을 이용한 가공 시 10um 이하의 선폭 가 공은 불가능하다. 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 롤투를 그라비어 연속 인쇄 공정을 이용한 10um 이하 미세 선폭 인쇄방법을 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적 인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

#### 과제의 해결 수단

본 발명의 일 관점에 따르면, 롤투를 그라비어 연속 인쇄 공정을 이용한 10um 이하 미세 선폭 인쇄방법이 제공 된다. 전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점은 이하의 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용, 청구범위 및 도면으로부터 명확해질 것이다.

## 발명의 효과

상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 롤투롤 그라비어 연속 인쇄 공정을 이용한 10um 이 하 미세 선폭 인쇄방법을 구현할 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

## 도면의 간단한 설명

도 1은 롤투롤 시스템 공정 장비 구성을 개략적으로 도시하는 개념도이다. 도 2는 인쇄 공정별 해상도(Resolution)와 생산성(throughput) 비교한 그래프이다. 도 3 및 도 4는 그라비어 인쇄의 특징을 보여주는 개념도들이다. 도 5는 그라비어 롤 제조 공정 순서를 보여주는 개념도이다. 도 6은 다이아몬드 톨을 이용한 기계적인 가공방법인 전자조각 가공을 개략적으로 보여주는 개념도이다. 도 7은 에칭 가공을 개략적으로 보여주는 개념도이다. 도 8은 오버 에칭이 발생한 것을 보여주는 개념도이다. 도 9는 레이저 가공을 보여주는 개념도이다. 도 10은 그라비어 롤러 패터닝 가공 종류인 전자조각 가공, 에칭 가공, 다이렉트 레이저 가공을 통하여 가공을 할 경우의 단면 형상을 보여주는 개념도이다. 도 11은 다이렉트 레이저 가공기를 보여주는 사진이다. 도 12는 도 11의 가공기를 이용할 시의 패턴 가공을 보여준다. 도 13은 가공 할 당시 가공 될 이상적인 그라데이션(20 %, 70 %, 100 %) 개념도이다. 도 14는 측정된 다양한 패턴의 실제 단면 형상이다. 도 15는 설계도 상의 패턴 폭 및 높이와 실제 각인된 패턴 폭 및 높이를 비교한 결과물이다. 도 16, 도 17은 도 15의 각인된 패턴 폭 및 높이의 오차 및 오차율을 비교한 결과물이다. 도 18은 각인된 패턴 폭 5개의 값과 설계도 상의 패턴 폭 값을 그린 그래프이다. 도 19는 실시예에서 사용된 롤투롤 시스템 장비 사진이다. 도 20은 도 19를 이용하여 인쇄 실험 시 사용된 롤투롤 시스템 장비 설정값을 보여주는 테이블이다. 도 21은 사용된 잉크 조건이다. 도 22는 각인된 패턴 선폭 측정에 사용된 디지털 마이크로스코프(HS-300U, E-flex) 사진이다. 도 23은 각인된 패턴 선폭 측정에 사용된 광학 마이크로스코프(ECLIPSE LV100ND, Nikon) 사진이다. 도 24는 각인된 패턴의 높이와 프로파일 데이터 측정에 사용된 디지털 마이크로 스코프(VHX-700, Keyence) 사진 이다. 도25는 각인된 패턴의 높이와 프로파일 데이터 측정에 사용된 간섭계(NV-2000, Nano system Inc) 사진이다. 도 26은 도 25의 결과를 보여주는 그래프들이다. 도 27은 패턴의 폭 크기 및 그라데이션에 따른 볼륨 증가로 잉크 전이량이 증가하는 것을 보여주는 그래프이다. 도 28은 동일 폭에서 그라데이션 변화에 따라 선폭 감소율을 보여주는 그래프이다. 도 29는 각인 패턴 폭 대비 인쇄 패턴 폭 감소량 및 증가량 계산하였을 때, 그라데이션에 따른 선폭 두께가 작 을수록, 두께 감소가 되는 것을 보여주는 그래프이다. 도 30은 그라데이션에 따른 증가량이 선폭이 클수록, 증가량 또한 감소가 되는 것을 보여주는 그래프이다. 도 31 및 도 32는 각인패턴 높이 대비 인쇄 패턴 높이 감소량 및 증가량을 보여주는 그래프들이다. 도 33은 본 발명의 일 실시예에 따라 형성된 각인된 패턴 폭 보다 미세한 폭을 구현해 낸 사진이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명의 효과 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 다양한

형태로 구현될 수 있다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 하며, 도면을 참조하여 설명할 때 동일 하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 이하의 실시예에서 층, 막, 영역, 판 등의 각종 구성요소가 다른 구성요소 "상에" 있다고 할 때, 이는 다른 구성요소 "바로 상에" 있는 경우뿐 아니라 그 사이에 다른 구성요소가 개재된 경우도 포함한다. 또한 설명의 편의를 위하여 도면에서는 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다. 예컨대, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타내었으므로, 본 발명이 반드시 도식된 바에 한정되지 않는다. 인쇄전자에서 유일하게 연속적으로, 대량 생산을 하기 위해서는 롤투롤(Roll-to-roll) 공정이 유일하다. 도 1은 롤투롤 시스템 공정 장비 구성을 그림으로 나타낸 것이다. 이와 같은 롤투롤 공정은 유연소재(flexible web)를 이용하여 회전롤에 감아 연속적으로 이송시키는 시스템이다. 롤투롤 기반의 인쇄전자 공정 종류로는 그라비어 인쇄(gravure printing), 오프셋 인쇄(Offset printing), 스크 린 인쇄(Screen printing), 잉크젯 인쇄(Inkjet printing) 등이 있다. 도 2는 인쇄 공정 별 해상도 (Resolution)와 생산성(throughput) 비교한 데이터로 MOTOROLA사의 인쇄전자소자 기술팀에서 발표한 자료로써, 고집적화, 소형화의 공정으로 가기 위해서는 최소 10 $\mu$ m이하의 선폭으로 인쇄가 가능하여야 하지만, 현재 롤에 각인 가능한 선폭은 20 $\mu$ m이다. 패터닝 제판 기술의 기계적 한계에 따라 미세선 인쇄를 위한 다른 접근 방법이 필요하다. 인쇄 공정 종류 중에서 미세선 인쇄를 하기에 그라비어와 오프셋 인쇄공정이 가장 유리하다. 도 3은 그라비어 인쇄는 미세형성화(패터닝), 대면적화, 연속성형화에 용이한 공정이다. 도 3은 그라비어 인쇄 공정은 회전하고 있는 그라비어 롤 표면에 잉크통 안의 잉크가 묻게 된다. 닥터 블레이드 (Doctor blade)가 패턴 안에 충전되어있는 잉크를 제외하고, 표면에 묻은 잉크를 제거해 준다(도 4). 이송중인 소재는 납롤을 통하여 압력을 주어 패턴 안에 있는 잉크가 소재에 전이되는 인쇄 방법이다. 도 5는 그라비어 롤 제조 공정 순서로는 (a)기존 스틸 롤러(Fe base roll) 제작한다. 세척(알카리 · 산) 후, (b)동 도금(Cr plating) 실시한다(성형작업에 용이한 표면 형성). 표면조도 연마작업 후, 롤러 패터닝 가공 종류로는 (c)전자조각 가공, (d)다이렉트 레이저 가공, (e)에칭 가공 방법이 있다(가공 종류 선정은 용도에 따라 패터닝 공정을 결정), 세척(알카리 · 산) 후, (f)크롬 도금(Cu plating) 실시한다. 폴리싱 작업(광택) 실시한다. (g)검수 후, 완료하게 된다. 전자조각 가공은 기계적인 가공 방법으로써, 다이아몬드 톨을 이용하여 가공을 한다(도 6). 톨의 형태 및 각도에 따라 패턴의 형태가 다르게 가공이 가능하다. 경질 도금 표면(Ni plating)에 가공 시 다이아몬드 톨의 마모 가속 되어, 수시로 교환 및 톨 헤드 정밀도에 따라 정밀 가공에 한계가 있다. 에칭 가공은 화학적인 가공 방법으로써, 마스크(Mask)가 제거된 위치의 동도금 표면은 산성 부식액(Acid)에 노출되어 부식이 이루어지는 공정 방법이다(도 7). 노출시간에 따라 패턴의 깊이가 달라진다. 깊이 최대값은 패턴 폭의 절반 값이므로, 적절한 부식 노출 시간에만 노출 시켜야 한다. 만일, 과하게 노출 될 경우에는 오버 에칭 (Over etching)이 된다(도 8). 다이렉트 레이저 가공은 직접적인 레이저 광원 가공으로 마스크(Mask) 및 노광, 에칭 공정 없이 다양한 재질 표면(세라믹, 아연, 크롬, 동, 니켈, 스틸, 초경합금, 알루미늄, 고무 등)에 패턴을 컴퓨터 이미지 데이터를 받아 직접 이미지 제판이 가능 한다. 설계는 그래픽 프로그램을 이용한다. 다이렉트 레이저 가공 방식은 레이저 조사 시간 변화에 따라 패턴 단면 형상이 달라지게 된다(도 9). 위의 그라비어 롤러 패터닝 가공 종류인 전자조각 가공, 에칭 가공, 다이렉트 레이저 가공을 통하여 가공을 할 경우, 도 10과 같은 패터닝 가공 종류에 따라 단면 형상에 다르게 가공이 된다. 본 논문의 실험에서 사용된 가공 방법으로는 다이렉트 레

이저 가공을 사용하였다. 이유로는 그래픽 프로그램을 이용해 원본 패턴에 다양한 그라데이션 효과를 통하여 다양한 단면 형상에 변화를 줄 수 있다. 1. 그라데이션 효과 적용한 그라비어 롤 가공 본 실험에서 사용된 그라비어 롤 가공은 (주)형제옵틱스에서 보유하고 있는 다이렉트 레이저 가공기(Digilgs laser 5000-800, Schepers GmbH & Co. KG)를 이용하여 제작하였다 (도 11). 도면에는 다양한 폭/높이( $25\mu\text{m}/3\mu\text{m}$ ,  $45\mu\text{m}/5\mu\text{m}$ ,  $65\mu\text{m}/7\mu\text{m}$ ,  $85\mu\text{m}/9\mu\text{m}$ )의 패턴에 다양한 그라데이션(20 %, 70 %, 100 %)을 인가한 패턴 가공을 진행하였다 (도 12). 2. 설계도 상의 패턴 및 실제 각인된 패턴 그라데이션 가공 할 당시 가공 될 이상적인 그라데이션(20 %, 70 %, 100 %) 개념도이다(도 13). 각인된 패턴의 프로파일 데이터를 정리하여 진행하였다. 측정된 다양한 패턴( $25\mu\text{m}$ ,  $45\mu\text{m}$ ,  $65\mu\text{m}$ ,  $85\mu\text{m}$ )의 실제 단면 형상이다(도 14). 그라데이션의 차이에 따라 단면형상을 비교하였을 때, 비교적 단면 형상에 변화가 있었다. 3. 설계도 상의 패턴 및 실제 각인된 패턴 폭/높이 비교 도 15는 설계도 상의 패턴 폭 및 높이와 실제 각인된 패턴 폭 및 높이를 비교한 표이고, 각인된 패턴 폭 및 높이 값은 평균 값으로 표기 하였으며, 폭 및 높이 값의 오차 및 오차율을 비교한 표이다(도 16, 도 17). 또한, 도 18은 각인된 패턴 폭 5개의 값과 설계도 상의 패턴 폭 값을 그린 그래프이다. 도 16의 각인 패턴 폭 오차율(ratio of error) 절대값으로 최소 0.6 %, 최대 7.38 %로 10 % 미만으로 만족스럽게 가공되었고, 도 17의 각인 패턴 높이 오차율(ratio of error) 절대값으로 최소 0.84 %, 최대 23 %으로 나왔고, 다소 좋은 편은 아니지만, 패턴 높이가 크지 않으므로 조그마한 차이가 나더라도 크게 느껴진다. 4. 인쇄 시 장비 설정 조건 및 사용 잉크 조건 도 19는 건국대학교 유연디스플레이 연속공정 연구소에서 보유하고 있는 롤투롤 시스템 장비를 이용하여 본 실험을 실시 하였다. 인쇄 실험 시 사용된 롤투롤 시스템 장비 설정 값이다(도 20). 사용된 잉크 조건이며, 최적화 된 잉크는 아니지만, 미세패턴 인쇄 시 용이한 잉크 타입이므로 사용하였다 (도 21). 5. 측정 장비 디지털 마이크로 스코프(HS-300U, E-flex)를 이용하여 각인된 패턴의 선폭을 측정하였다 (도 22). 광학 마이크로 스코프(ECLIPSE LV100ND, Nikon)를 이용하여 인쇄된 패턴의 선폭을 측정하였다 (도 23). 디지털 마이크로 스코프(VHX-700, Keyence)를 이용하여 각인된 패턴의 높이와 프로파일 데이터를 측정하였다 (도 24). 간접계(NV-2000, Nano system Inc)를 이용하여 인쇄된 패턴의 높이와 프로파일 데이터를 측정하였다 (도 25). 그리고, 측정된 인쇄된 패턴의 프로파일 데이터를 활용하여 패턴 크기 및 그라데이션에 따라 비교할 수 있었다 (도 26). 6. 패턴 폭 및 프로파일에 따른 인쇄된 패턴 단면 형상 인쇄된 패턴 프로파일은 도 26에 도시된 것과 같다((a) $25\mu\text{m}$ , (b) $45\mu\text{m}$ , (c) $65\mu\text{m}$ , (d) $85\mu\text{m}$ ). 1. 그라데이션에 따른 잉크 전이량 및 폭 감소율 비교 패턴의 폭 및 그라데이션에 따라 전이량에 따라 관련성에 대해 알아보기 위하여, 인쇄 패턴 볼륨 대비 각인 패턴 볼륨을 이용하여 계산하였다. 도 27에서 패턴의 폭 크기 및 그라데이션에 따른 볼륨 증가로 잉크 전이량이 증가하였다. 잉크 전이량 계산 방법은 다음과 같다. 도 28의 그래프에서 동일 폭에서 그라데이션 변화에 따라 선폭 감소율을 나타낸다. 인쇄 패턴 폭 대비 각인 패턴 폭을 이용하여 계산하였다. 동일 폭에서 그라데이션 변화에 따라 인쇄 폭 감소 영향은 인쇄 선폭이 낮을수록 크다(기울기 비교). 폭 감소율 계산 방법은 다음과 같다. 2. 그라데이션에 따른 폭 및 높이 감소량, 증가량 각인 패턴 폭 대비 인쇄 패턴 폭 감소량 및 증가량 계산하였을 때, 그라데이션에 따른 선폭 두께가 작을수록, 두께 감소가 되었다 (도 29). 그라데이션에 따른 증가량은 선폭이 클수록, 증가량 또한 감소가 되었다 (도 30). 그외의 각인패턴 높이 대비 인쇄 패턴 높이 감소량 및 증가량 또한 계산하였을 때, 동일한 경향을 나타냈다 (도 31, 도 32). 본 실험은 목적으로 그라비어 인쇄 방식을 통한  $10\mu\text{m}$  이하 미세선 인쇄를 구현 및 다

이렉트 레이저 각인 시 그라데이션을 통한 잉크 전이량 변화를 통해 미세선 인쇄 제어 수행, 각인 시 그라데이션 효과가 미세선 인쇄에 미치는 영향 분석에서는 그라데이션에 따른 선폭 두께 및 증가량에 관하여 진행하였으며, 적절한 그라데이션을 설정한 패턴 가공을 통하여 각인된 패턴 폭 보다 미세한 폭을 구현해 낼 수 있다(평균 인쇄 선폭 :  $8.068\ \mu\text{m}$ , 평균 두께 :  $309.291\ \text{nm}$ )(도 33). 이처럼 본 발명에서는 가공 깊이가 얇은 부분은 인쇄 시 잉크 전이가 되지 않는다는 점을 착안하여 패턴 가장자리에서 중심부까지 깊이 방향 기울기를 조정하여 인쇄 선폭을 제어하는 계조(gradation) 기술을 제안하였다. 도면 설계 시, 미세선 폭 방향으로 상용 디자인 프로그램을 이용하여 명암 차이를 주고, 명암 차이에 따른 패턴 깊이를 설정하는 방법으로 폭 방향 별 패턴 깊이를 제어하였으며, 명암 차이를 다르게 설정함으로써 깊이 방향 기울기를 조정하였다. 가공 시, 다이렉트 레이저 가공 기법의 경우, 파워, 레이저 스폿의 위치를 달리함으로써 명암에 따른 패턴 깊이를 조정하였다. 가공 시 본 발명에서는 다이렉트 레이저 기법을 이용하였으나, 이에 한정 되지 않고, 입력 조건에 따라 패턴 깊이를 다르게 설정할 수 있는 모든 각인 장비를 포함한다. 이와 같이 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것 이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이 다.