

마이크로미러를 사용한 바이오칩의 선택적 표면 개질을 위한 광변조 실험

이국녕, 신동식, 이윤식, 김용권
 서울대학교 전기 컴퓨터 공학부, 서울대학교 응용화학부

Selective surface modification for biochip with micromirror array

Kook-Nyung Lee, Dong-Sik Sin, Yoon-Sik Lee and Yong-Kweon Kim
 School of electrical & computer engineering, School of chemical engineering
 Seoul National University

Abstract - This paper reports on the design, fabrication and driving experiment of micro mirror array(MMA) for lithography process to apply to biochip fabrication. Photolithography technology is applied to activate specific area on the surface of modified glass surface, DNA monomers are bound on the activated area of the glass surface. After repeat of DNA monomer synthesizing process, DNA single strand probes could be solid-synthesized on the glass substrate. Without using photomask, photolithography process is tried using micro mirror array(MMA). Photomask or mask alignment is not required in maskless photolithography process using micro mirror array.

1. 서 론

마이크로머싱 기술의 하나인 사진공정(photo-lithography)을 이용하여 수십 만개의 DNA 가닥의 상보 결합 원리를 이용하여 한꺼번에 수많은 DNA 염기 서열을 읽어낼 수 있도록 고안된 DNA chip에 대한 연구가 진행되고 있으며[1,2], 상용화 단계의 수준까지 이르고 있다. 그러나 DNA 검출을 위해서 DNA 가닥을 구성하는 염기 조합을 인위적으로 합성하는 데 필요한 사진공정에서는 합성하려는 DNA 가닥을 구성하는 염기의 수에 비례하여 많은 마스크가 필요하고, 사진공정의 횟수만큼 마스크 정렬 작업이 수반되므로 DNA chip 제작비용과 제작하는 데 필요한 시간 문제 등 해결해야 여러 가지 어려움이 많다.

마스크를 사용하는 데서 발생하는 여러 가지 문제는 마스크 대신 마이크로미러 어레이를 사용하면 해결할 수가 있다[3]. 본 논문에서는 마이크로미러 어레이를 이용하여 선택적인 photolithography를 함으로써 마스크를 사용하지 않고 선택적으로 표면개질을 할 수 있는 photolithography 장치 제작을 위해 필요한 마이크로미러 어레이의 설계 및 제작과 미러(mirror)의 픽셀 구동 방법을 다루고 마이크로미러 어레이를 이용한 photolithography의 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 마이크로미러 어레이를 이용한 photolithography

단백질 혹은 DNA 검출 기능을 하는 생체분자를 유리 기판 위에 고정시키기 위해 먼저 유리 기판을 표면처리하게 된다. 기판 표면에 고정시키려는 생체분자가 쉽게 결합하도록 화학 기능을 도입하고 그 위에 다시 반응이 가지 않도록 보호 기능기(Protection group)를 붙인다. 보호 기능기는 UV에 노출되면 쉽게 떨어져서 표면은 다시 생체 분자가 결합할 수 있는 상태로 활성화된다. 마이크로미러 어레이는 보호 기능기가 있는 표면의 특정 영역에 선택적으로 빛을 주사하는 광스위치 역할을 하게 되며 이를 통해 좁은 면적에 여러가지 생체 분자를 선택적으로 고정화시킬 수 있게 된다. 그림 1에 마이크로미러 어레이를 이용하여 DNA 가닥 배열을 합성하는 방법을 보였다.

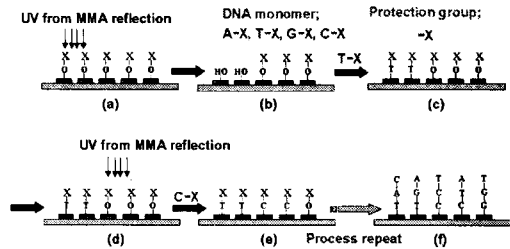


그림 1. DNA 가닥 배열 합성 방법

마이크로미러로 표면에 미리 처리해 둔 보호 기능을 광제거하여 특정 영역을 활성화시킨 후 T-X 염기를 공유 결합시켜 합성한다. 같은 방법으로 다른 염기의 경우에도 하나씩 붙여가며 합성하고, 이 과정을 반복하면 DNA 가닥을 합성할 수 있게 된다.

2.2 DNA probe 합성을 위한 기판 표면개질

유리 기판 위에 DNA 단량체(monomer)를 합성하기 위해서는 기판 표면에 적절한 화학 기능을 도입하는 표면 개질을 해야 한다. 기판 위에 필요한 여러 종류의 DNA 단량체를 합성하기 위해서는 기판 표면을 선택적으로 활성화하여 기능을 도입하는 과정이 필요하며, 자외선에 의해 쉽게 제거가 가능한 보호 기능기(MeNPOC[4])와 이를 기판 표면으로부터 선택적으로 제거하기 위해 마이크로미러를 이용하여 자외선을 광변조하여 표면을 선택적으로 활성화시키는 방법을 이용한다. 기판 표면을 화학 처리하여 MeNPOC를 도입해야 하는데 먼저 유리판 위에

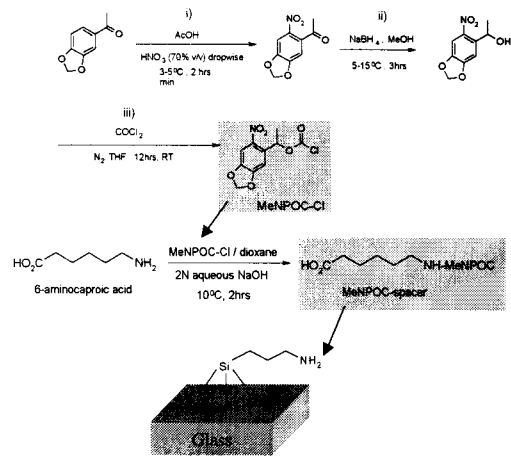


그림 2. 보호 기능기(MeNPOC)의 도입 과정

APTES (3-aminopropyltriethoxysilane, Aldrich co.)를 이용하여 아민기를 도입하였다(aminosilanization). 먼저 MeNPOC-Cl을 합성하고 여기에 스페이서를 도입하여 MeNPOC-spacer를 합성한 후 이것을 아민기가 도입된 유리 기판 위에 반응시켰다. MeNPOC 기능기는 자외선을 쬐면 떨어지므로 기판 표면은 반응성 있는 상태로 바뀌어 빛을 쬐어 표면 활성화를 한 부분에만 DNA monomer를 합성할 수 있게 된다(그림 2).

2.3 마이크로 미러 설계, 제작 및 구동

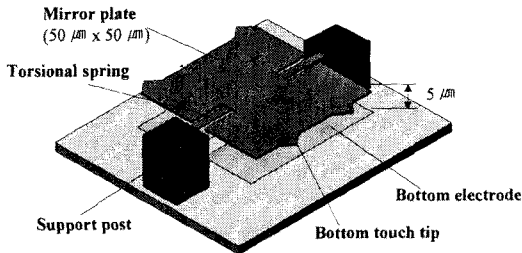


그림 3. 설계한 미러의 구조[5]

미러의 크기는 $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ 이고, 두 개의 스프링에 의해 지지기둥에 연결되어 있다. 비틀림 스프링은 정전력에 의해 구동되는 미러의 기계적 복원력을 제공한다. 미러면과 바닥전극과의 높이는 $5\ \mu\text{m}$ 로 최대 구동각이 양쪽으로 10° 이다. 미러판의 끝에 있는 턱은 미러의 점착을 줄이기 위한 것이다. 제작한 마이크로 미러는 가로 세로로 40×20 의 배열로 이루어져 있다. 실리콘 기판에 미러 구동회로를 집적시키지 않은 상태에서 제작된 모든 미러를 개별적으로 구동하는 것은 사실상 불가능하므로 몇 개의 미러를 동일한 전극으로 묶어서 배선하였다. 미러판에 연결되는 배선은 4 줄을, 바닥전극으로 연결되는 배선은 2 줄을 같이 묶어서 4×2 개의 미러가 동시에 움직이도록 설계하였다. 즉, 8 개의 미러를 하나의 블록으로 묶어서 10×10 개의 블록 구동이 가능하도록 하였다.

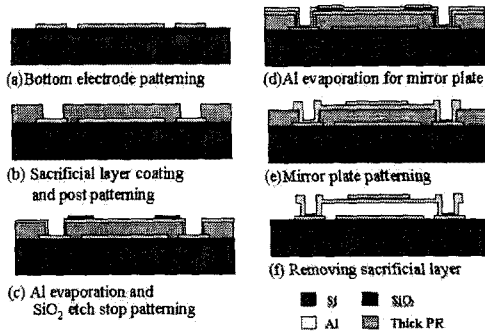


그림 4. 마이크로미러 제작 공정

그림 4에 미러의 제작 공정을 나타내었다. 먼저 실리콘 기판 위에 절연층으로 사용할 열산화막을 형성하고, 알루미늄을 열증착하여 바닥 전극을 정의한다. 희생층으로 사용될 AZ4620을 도포하고 오븐에서 220°C 까지 열처리한다. 그리고 PECVD 산화막을 RIE(reactive ion etching)의 식각 마스크로 사용하여 지지기둥 패턴을 제작하기 위한 홀을 만든다. 알루미늄을 스프링 두께만큼 열증착하고 PECVD 산화막을 이용하여 미러 스프링을 정의하기 위한 식각 방지(etch stop) 패턴을 제작한다. 미러의 두께를 고려하여 다시 알루미늄을 증착하고 미러의 형상을 정의한

후, 알루미늄 건식 식각으로 미러를 제작한다. 마지막으로 희생층을 플라즈마 건식 식각으로 제거하면 된다. 그림 5에 제작된 미러의 SEM 사진을 보였다. 제작된 마이크로 미러의 정특성에 대한 실험 결과와 계산 결과를 비교하여 그림 6(a)에 나타내었다. 스프링의 두께가 $3000\ \text{\AA}$, $3500\ \text{\AA}$ 에 대하여 계산하였으며 이 때 마이크로미러의 구동 전압은 각각 37V 와 42V 이다. 구동 실험 결과와 비교했을 때, 제작된 스프링의 두께를 추측할 수 있으며, 대략 $3000\ \text{\AA}$ 정도가 된다. 마이크로미러가 구동되어 바닥에 닿은 후 전압을 낮추게 되면 다시 원래 상태로 돌아오게 되는데 미러판과 바닥과의 점착 때문에 계산된 상승문턱전압보다 훨씬 낮은 전압에서 미러판이 복원되었다. 이것을 해결하기 위해서는 미러판과 바닥과의 점착방지 처리가 수반되어야 한다.

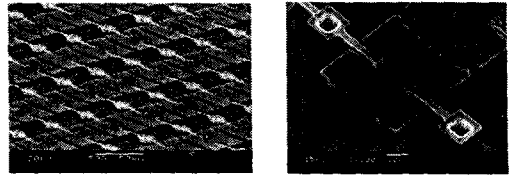
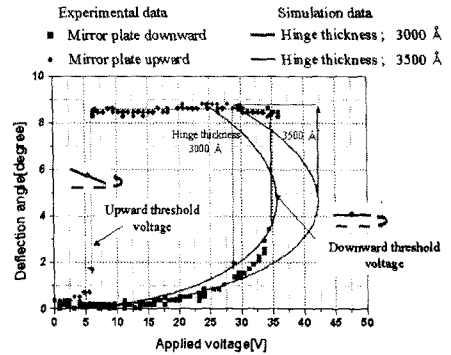
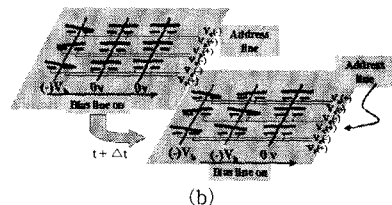


그림 5. 제작된 마이크로 미러의 SEM 사진



(a)



(b)

그림 6. 미러의 정특성(a)과 픽셀 구동 원리(b)

마이크로미러 어레이를 개별 구동하기 위해서 미러판에 바이어스 전압을 주고 바닥 전극에 어드레스 전압을 주는 구동 방법이 필요하다(그림 6(b)). 즉 어드레스 전극에 $V_{a(-)}$, $V_{a(+)}$ 를 주고, 바이어스 전극에 $(-V_b)$ 의 바이어스 전압을 주면 미러는 전위차가 큰 $V_{a(+)}$ 가 걸린 바닥 전극 쪽으로 기울어지며 바이어스 전압이 유지되는 한 미러는 바닥 전극 신호인 어드레스 신호가 바뀌어도 그 상태를 유지하게 된다. 따라서 다음 바이어스 라인에 연결된 미러의 기울어지는 방향을 결정하기 위해 바닥 전극의 신호를 바꾸어도 처음 바이어스 전압에 묶인 미러에 영향을 주지 않으므로 순차적으로 바이어스 라인 별로 미러를 구동시킬 수 있다. 다음 화상을 만들기 위하여 바이어스 전압을 $0\ \text{V}$ 로 하면 미러는 원래의 편평한 상태로 돌아오며 같은 원리로 개별 구동에 의한 화상을 만들 수 있다. 8개의 미

러를 한 블록으로 묶어서 구동한 모습을 그림 7에서 보았다.

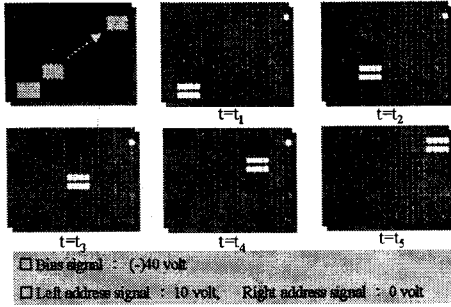


그림 7. 마이크로미러의 블록 구동 모습

2.4 Photoresist를 이용한 photolithography

마이크로 미러를 이용하여 자외선을 photoresist (AZ4620)로 반사시켜 패턴을 제작한 모습을 그림 8에 보였다. 사진 식각공정에서 사용하는 UV lamp를 15mW에 맞추어 40초간 기울어진 미러에 직접 노광하여 반사시켰다. 빛의 산란으로 인해 미러 패턴이 PR에 선명하게 정의되지는 않았지만 광학 장치를 추가하여 미러에서 반사되는 빛이 평행광이 되도록 만들어주고 집광하도록 하면 보다 선명한 패턴을 만들 수 있을 것으로 보인다.

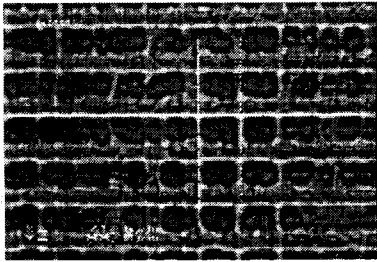


그림 8. 미러레이어를 이용하여 제작한 포토레지스트 패턴

2.5 레이저를 이용한 미러의 광학계 구성

DNA의 염기를 하나씩 합성하는데 사용하는 표면 보호 기능기(MeNPOC)는 365nm의 자외선을 받으면 제거가 된다. 광원으로 자외선을 사용하게 되므로 정확한 초점을 맞추기가 어려우므로 먼저 He-Ne 레이저를 이용하여 미러의 광변조 실험을 하였다.

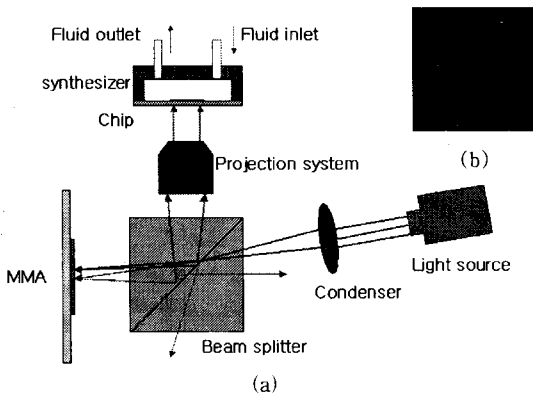


그림 9. 마이크로미러를 이용한 광변조 실험 장치도(a)와 스크린에 비춰진 미러의 모습(b)

빛의 경로를 쉽게 바꿀 수 있고 미러의 구동각(10°)을 고려하여 광원에서 나오는 빛의 입사각에 대한 설계 여유를 얻기 쉽도록 빔 스플리터(beam splitter)를 사용하였다. 광원에서 나온 빛은 집광 렌즈(condenser lens)에 의해 beam의 폭이 마이크로미터 어레이(MMA)의 유효 반사 면적에 맞도록 조절하며, 미러구동을 위한 제어 신호에 의해 구동된 미러에 의해 방향변조가 이루어진다. 다시 빔 스플리터를 통과한 후 프로젝션 렌즈를 통해 스크린에 상을 맺게 된다. 추후 제작될 DNA 합성 장치와 연결되어 마이크로미러에 의해 광변조로 얻어지는 자외선 패턴은 DNA 합성에 필요한 선택적 표면개질에 사용되게 된다. 그림 9(a)에 마이크로미러를 이용하여 바이오칩 제작에 응용되는 광학 장치에 대한 개요도를 보였으며, He-Ne 레이저를 이용하여 스크린에 맺힌 마이크로미러의 광변조 모습을 그림 9(b)에 나타내었다.

3. 결 론

자외선에 의해 쉽게 제거가 가능한 표면 보호 기능기(MeNPOC)를 기판 표면에 합성하고 DNA 염기를 합성하는 기초 실험을 수행하였으며, 이렇게 표면 개질된 기판 표면에 무작위적인 패턴을 만들어 내기 위한 광변조기로 사용될 마이크로미러 어레이를 설계 제작하고 구동하였다. 포토마스크 대신 미러를 이용한 photolithography 장치 제작을 위한 연구의 기초 과정으로 마이크로미러 어레이를 설계하고 제작하였으며, 미러의 구동을 위해 미러 구동 회로를 제작하였다. 간단한 광학 실험을 통하여 마이크로미러의 광변조를 실험을 하였다. 마이크로미러에 의해 만들어진 패턴 형상을 통해 마이크로미러가 포토마스크 대신 사용될 수 있음을 확인하기 위하여 PR을 이용한 photolithography 실험을 하였으며, 보다 선명한 패턴 형상을 만들기 위해 광학계를 설계하고 미러를 이용한 표면 활성화 실험을 진행하고 있다.

감사의 글

이 논문은 마이크로/나노 시스템 집적화 연구센터의 지원(97K4-0900-00-01-3과제)과 2000년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] Carlos H. Mastrangelo, Mark A. Burns, and David T. Burke, "Microfabricated Devices for Genetic Diagnostics", Proceeding of the IEEE, pp. 1769-1787, August, 1998.
- [2] A. C. Pease, et al., "Light-generated oligonucleotide arrays for rapid DNA sequence analysis," in Proc. Nat. Acad. Sci. USA, Vol. 91, pp. 5022-5026, 1991.
- [3] 이국녕, 정석환, 김용권, "바이오칩 제작 용 마이크로미러 어레이의 설계 및 제작", 한국센서학회 종합학술대회 논문집, 제 10권 제 1호, pp. 181-184, 1999.
- [4] G. H. McCall, A. D. Barone, M. Diggelmann, Stephen P. A. Fodor, Erik Gentalen, and Nam Ngo, "The efficiency of Light-Directed Synthesis of DNA Arrays on glass substrate", Journal of the American chemical society, Vol. 119, pp 5081-5091, 1997.
- [5] S.W.Chung, J.W.Shin, Y.K.Kim, and B.S.Han, "Design and Fabrication of Micro Mirror Supported by Electroplated Nickel Posts", Transducer'95 Euroensors IX, Vol.1, pp. 312-315, 1995.