



총론: 레이저 패터닝 & 코팅

클 아이코 나라자키_국립연구개발법인 산업기술종합연구소 기능화학연구부문 광재료화학그룹 주임연구원
번역 유정훈 / 그린광학 사업개발그룹장

본 호에서는 광을 사용한 재료표면의 고기능화에 착안해서 레이저 광을 이용한 패터닝 (patterning)과 코팅기술을 주제로 해서 특집을 기획했다.

재료표면은 기능성과 내성, 외관을 크게 좌우한다. 예를 들면 재료본체는 같아도 표면을 내후성코팅으로 덮으면 재료 그것의 내구성이 격단이 향상하는 것으로 되고, 표면에 기능성패터닝을 실시하면 고부가가치화할 수 있다. 따라서 재료표면을 고기능화 할 수 있는 패터닝과 코팅기술은 산업에서 중요한 위치를 차지하고, 우리들 생활을 보다 풍부하게 한다고 할 수 있다.

작금, 일본의 모노츠크리 현장에서는 고객니즈의 다양화에 응해야하고, 다품종 소량생산의 중요성이 증가하고 있다¹⁾. 또 3D 프린터 등의 산업도입에 의해 복잡형상부품도 비교적 간단히 제작할 수 있도록 되어 왔다. 이와 같은 다품종 소량생산과 복잡형상을 가지는 부재표면의 고기능화방법으로서 레이저 패터닝과 코팅기술은 나날이 주목되고 있다.

덧붙여서 레이저 패터닝이라고 하면 많은 독자는 레이저 광에 의한 표면 절삭을 연상할지도 모르지만, 이번에 소개하는 것은 “레이저 전사(轉寫)”라는 방법을 중심으로 한 미세패턴을 재료표면에 부가형성하는 레이저부가형 패터닝이다. 레이저 전사는 패턴의 고정도화 등 아직 과제는 남아있지만, 은(銀)나노페스트 등의 새로운 원료 활용²⁾과 방법개량^{3,4)}에 의해 구미를 중심으로 큰 진전을 보이고 있고, 차세대 3D 프린팅기술⁵⁾로서도 흥미 깊다.

먼저, 레이저 전사와 그 프로세스 가시화에 대해서 소개하겠다. 레이저 전사는 대기압 하에서 마이크로 한 물질을 움직일 수 있기 때문에 진공을 필요로 하지 않는 간편한 미세패터닝 기술로서 개발되어 왔다. 일반적으로는 레이저 광을 투과하는 투명지지판상에 목적의 물질을 원료 막으로서 적층하고, 투명지지판 측에서 레이저 펄스를 조사한다. 그 결과, 투명지지판과 원료 막의 계면에서 레이저 조사에 의한 막의 용융·증발(ablation)이 일어나고, 남은 원료 막을 대향하는 리시버 기판상으로 이동할 수 있다. 상기는 어디까지나 일반적인 이미지이고, 전사 최적화에는 프로세스 가시화가 중요한 핵심으로 된다. 레이저 어블레이션이라는 시간·공간 모두에 마이크로 한 사상(事象)의 가시화에는 고도한 계측기술과 프로세스 이해가 필요로 되고, 이와 같은 기상(氣相) 프로세스의 가시화에 대해서 선구로 된 연구⁶⁾에 대해서 해설하겠다. IoT(Internet of Things) 그리고 인공지능, 기계학습이라고 하는 프로세스 모니터링과 피드백의 중요성이 재인식되고 있는 지금, 독자 여러분의 일조로 되면 다행이겠다. 또 이후, 독자기술인 코히런트 공간섭패턴가공법⁷⁾을 살린 새로운 레이저 전사법 개발이 기대된다.

다음은 필자가 개발을 진행하는 2종류의 레이저 전사 패터닝에 대해서 소개하겠다. 전반은 나노·마이크로입자를 자유롭게 배열·묘화할 수 있는 방법개척을 겨냥해 개발해온 레이저 유기 도트 전사법에 의한 마이크로미트/나노미터사이즈의 미립자(dot)의 대기압 묘화에 대해서 소개한다. 후반은 종래과제였던 전사 고정도화로의 연구로서 광 스탬프 레이저 전사법을 고안했기 때문에 소개한다. 목적은 기능성박막의 기능을 잃는 것 없이, 심지어 기판에서의 해방에 의한 기능성향상을 겨냥한 새로운 방법개척이다. 이어서 레이저 전사에 의한 생체물질의 패터닝과 레이저 광압을 이용한 광 핀셋에서의 DNA 패터닝에 대해서 해설한다. 레이저 전사법에서는 단백질 등 생리활성기능을 가지는 생체물질을 생리활성을 잃는 것 없이 패터닝 할 수 있는 가능성이 있다. 진공을 필요로 하지 않고, 또 원료를 그대로 이동할 수 있는 방법원리에 의해 이 특징을 살린 생체물질의 레이저 전사 패터닝에 관한 소개이다. 광 핀셋은 세포 등을 비접촉으



로 포착해서 자유롭게 조작할 수 있는 기술이고, 이미 실용화되어 있다. 그러나 DNA 등 나노미터사이즈의 물체를 종래의 광 핀셋으로 잡는 것은 어려웠다. 그래서 플라즈몬(plasmon)의 광 전장 증강효과를 사용하는 플라즈몬 광 핀셋을 개발, DNA 그것의 플라즈몬 광 포착에 세계 최초로 성공했다⁸⁾. 이 기술이 진화하면 생체분자의 표면패터닝에 의한 바이오센서 응용도 기대된다.

이후는 보다 산업에 가까운 시점에서의 레이저 패터닝·코팅의 응용소개이다. 구체적인 응용으로서 전기자동차(Electric Vehicle, EV) 개발에서 중요하게 되는 경량화를 향산 수지 프론트 글라스의 진공자외 레이저 표면개질 코팅기술을 소개한다. 수지 프론트 글라스를 사용하면 EV를 경량화 할 수 있지만, 일반적으로 내찰상성, 내환경성(자외선, 열, 물로의 폭로)에 있어 무기글라스제 프론트에는 미치지 않는다. 그래서 수지표면에 실리콘을 도표, 자외선 레이저 광조사에 의해 투명한 한편 경질한 SiO₂층을 형성하는 레이저 코팅기술을 개발하고 있다⁹⁾. 이와 같은 우수한 레이저 코팅기술이 일본산 EV에 탑재되어 세계 시장에 활약하기를 기대한다.

마지막으로 다양한 플렉시블 디바이스에 적용 가능한 레이저 코팅기술에 대해서 소개한다. 플렉시블 디바이스 실현에는 다양한 기능성 세라믹스를 유연한 금속·수지소재로 제작할 필요가 있고, 종래의 고온가열 프로세스는 사용할 수 없다. 그 과제해결을 향해 금속유기원료를 기재표면에 도포 광조사하는 방법을 개발해왔다¹⁰⁾. 본고에서는 이 레이저 코팅에 대해서 방법소개 및 각종 플렉시블 세라믹스코팅의 실례와 응용에 대해서 소개한다.

본 호의 집필에 흔쾌히 협력해준 저자 여러분에게 이 장을 빌려 깊이 감사드림과 함께 본 특집이 재료에 있어 중요한 표면을 진화시키는 레이저 광기술의 가능성에 대해서 논의되는 장이 되면 다행이겠다.

참고문헌

1. http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/seizou/pdf/001_02_02.pdf
2. J. Wang, R. C. Y. Auyeung, H. Kim, N. Charipar, and A. Piqué, "Three-dimensional printing of interconnects by laser direct-write of silver nanopastes", *Advanced Materials*, 22 (2010) 4462.
3. J. Ihlemann and R. Weichenhain-Schriever, "Patterned deposition of thin SiO_x-films by laser induced forward transfer", *Thin Solid Films*, 550 (2014) 521.
4. 奈良崎愛子, 佐藤正健, 新納弘之, 「レーザー誘起ドット転写法によるナノドットの作製」, *レーザー研究*, 43 (2015) 777.
5. C. W. Visser, R. Pohl, C. Sun, G. W. Römer, B. Huis in't Veld and D. Lohse, "Toward 3D printing of pure metals by laser-induced forward transfer" *Advanced Materials*, 27 (2015) 4087.
6. Y. Nakata and T. Okada, "Time-resolved microscopic imaging of the laser-induced forward transfer process", *Appl. Phys. A*, 69 (1999) S275.
7. 中田芳樹, 「コヒーレント光干渉パターン加工法の進展」, *オプトロニクス*, 424, 4 (2017) 139.
8. 坪井泰之, 東海林竜也, 「ナノ物質を操作できるプラズモン光ピンセット」, *現代化学*, 555 (2017) 50.
9. 野尻秀智, 大越昌幸, 「フッ素レーザーにより改質した自動車用樹脂窓の耐熱試験下でのクラック抑制」, *レーザー研究*, 45 (2017) 646.
10. T. Tsuchiya, T. Mitsuura, K. Shinoda, T. Nakajima, J. Akimoto, and Y. Idemoto, "Tunable photoluminescent properties of Eu-doped β -Ga₂O₃ phosphor thin films prepared via excimer laser-assisted metal organic decomposition", *Jpn. J. Appl. Phys.* 53 (2014) 05FB14.