



저가형 다이오드 레이저 모듈의 제작 및 이를 이용한 전자소자 제조

이후승^{a*}, 김재민^a, 강봉철^b, 이주형^c, 나준희^d

Production of Low-cost Diode Laser module and Fabrication of Electronic Device using the Laser

Hu Seung Lee^{a*}, Jae Min Kim^a, Bong Chul Kang^b, Joo Hyung Lee^c, Jun Hee Na^d^a Dept. of Mechanical and Materials Engineering Education, Chungnam Nat'l Univ.
99, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea^b School of Mechanical Engineering, Kookmin Univ.
77, Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02707, Korea^c Dept. of Mechanical System Design Engineering, Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology
232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea^d Dept. of Electric, Electronics and Communication Engineering Education, Chungnam Nat'l Univ.
99, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	24	April	2019
Revised	3	August	2019
Accepted	2	October	2019

Keywords:

Diode laser fabrication
Reliability test
Nanoparticle sintering
Electronic device fabrication

ABSTRACT

Recently, various kinds of lasers have been developed in response to the trend of expanding the application field of the laser industry. Despite the widespread application of lasers, their high cost limit their performance in many applications. To overcome this limitation, low-cost diode lasers have been actively studied. In this paper, a low-cost laser was developed for the production of printed electronic patterns as a part of the development of low-cost lasers. As a result, high-quality lasers were developed capable of producing printed electronic patterns. It was also possible to achieve properties similar to that of a conventional low-cost infrared fiber laser.

1. 서론

최근 다양한 산업분야에서 기존의 소자 제작 공정을 레이저를 이용한 공정으로 대체하는 연구가 활발하다. 이미 산업에 적용되어 사용되는 레이저 용접을 필두로 하여 레이저와 나노입자를 이용한 생체반응 분야에 까지 레이저의 적용은 점점 더 활발해지는 추세이다. 이는 레이저가 가지는 선택적 광에너지 조사 특성 및 그 조사되는 에너지의 파장 및 조사 조건에 따른 재료와의 상호작용에 대한 가변 특성을 바탕으로 한다^[1,2].

이러한 장점에도 불구하고 레이저는 고가의 장비비용과 초기 설치과정에의 전문성 요구 및 그 주변기기들의 환경에 대한 민감성에 의해 공정 적용의 제한을 받고 있다. 이를 해결하기 위하여 최근 다이오드 레이저나 파이버 레이저와 같은 저가형 레이저 장비가 주목받고 있으며 이를 이용한 산업공정에서의 적용도 활발하게 이루어지고 있다. 본 논문에서는 이러한 추세에 맞추어 기존 파이버 레이저 대비 1/10 가격으로 제작 가능한 저가형 다이오드 레이저를 이용한 나노입자 소결공정을 제안하고 그 공정의 가능성을 전자소자제작을 통하여 확인하고자 한다. 앞서 언급한 바와 같이, 저

* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-8595

Fax: +82-42-821-8732

E-mail address: liber@cnu.ac.kr (Lee, Hu Seung).

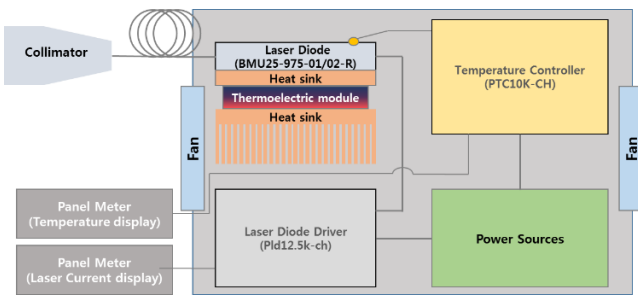


Fig. 1 Schematic of fabricated laser diode module

가형 레이저의 산업공정 적용이 활발한 실정이지만 아직 그 광에너지의 조사균일성과 출력안정성 등이 기존의 고가형 레이저에 비해 낮고 저출력 공정에 대한 검증이 미흡하다고 판단, 본 연구를 진행하게 되었다. 연구는 레이저의 제작 및 특성 평가를 바탕으로, 제작된 레이저를 이용한 나노입자 소결공정 적용 및 소결특성분석과 더불어 전자소자 제작을 통한 레이저의 나노입자 소결 가능성 검토의 순으로 수행하였다.

2. 다이오드 레이저 제작 및 성능평가

2.1 다이오드 레이저 제작

본 연구에서 제작된 다이오드 레이저의 구성도를 Fig. 1에 나타내었다. 975 nm 파장의 레이저 다이오드 모듈(BMU25-975-01/02/R, Oclaro사)에 레이저 다이오드 드라이버(PLD12.5K-CH, Wavelength electronics사)를 통하여 전원을 공급하고, 광전변환 효율에 따른 발열특성을 제어하기 위하여 다이오드 표면에 열전대를 부착, 측정된 온도를 온도제어기(PTC10K-CH, Wavelength electronics사)에 전달하면 온도제어기를 통하여 열전소자(Thermoelectric module)에 보상할 전압 값을 전달하여 다이오드를 안정화 하였다. 레이저 상태감시를 위하여 시스템 외부에 온도 상태와 레이저출력상태를 표시하는 패널미터(MT4Y-DV-4N, Autonics사)를 장착하여 현재의 시스템 상태를 감시하였고 시스템의 온도제어를 위해 12 W 냉각팬을 시스템 양 끝에 장착하여 냉각을 유도하였다. 이와 같은 구성을 바탕으로 실제 제작된 다이오드 레이저를 Fig. 2에 나타내었다. 패널미터의 경우, 디스플레이 되는 전류 값을 온도 값과 레이저 출력 값으로 변환할 뿐만 아니라 온도제어기와 레이저 다이오드 드라이버의 설정 전류 값과 현재 전류 값을 선택하여 볼 수 있도록 결선하였으며, 구성된 시스템의 레이저의 기초 특성을 확인하기 위하여 다음과 같이 추가적인 실험을 진행하였다.

2.2 다이오드 레이저 특성평가

먼저 다이오드의 안정적인 구동을 위해 온도제어 실제 값을 온

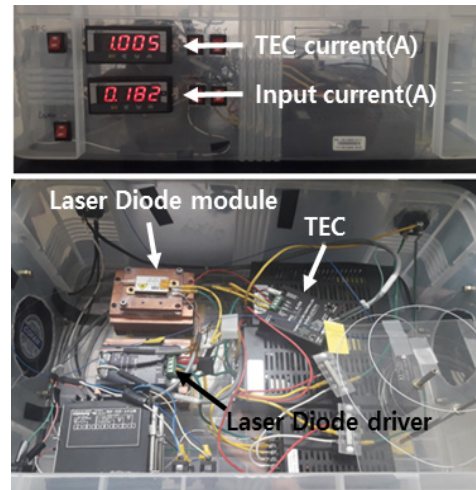


Fig. 2 Configuration diagram of panel meter and laser diode module

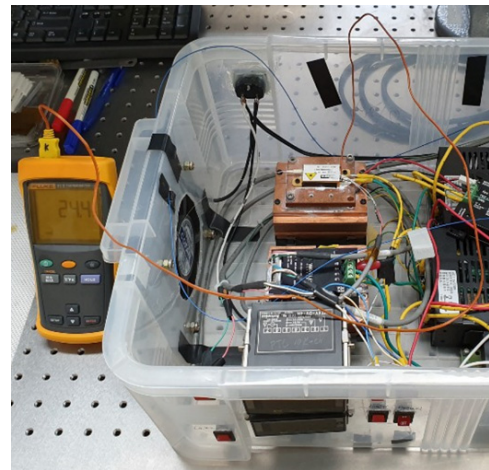


Fig. 3 Measurement of diode temperature using a thermometer

도측정기를 이용하여 Fig. 3과 같이 측정하였다. K-type의 열전대(Fluke-51-2, Fluke사)를 이용하여 온도제어기에서 패널미터로 출력하는 전압 값과 실제 온도 값과의 비교를 통하여 선형보간을 수행, 관계식을 Fig. 4와 같이 유도하였다. 그 결과, 아래 식 (1)을 유도할 수 있었으며 이를 참조하여 온도제어기의 목표값을 0.97 V (25°C)로 설정하였다.

$$y = -0.0241 \times x + 1.5694 \dots\dots\dots (1)$$

앞서 설정한 온도제어 값을 기준으로 다이오드 레이저출력의 신뢰성과 안정성을 파악하기 위하여 Fig. 5와 같이 레이저 출력 측정기(PM100D, Thorlabs사)를 설치한 후, 입력 전류 값의 선형적 증가에 따른 레이저의 출력과 더불어 일정 입력 전류 값에 따른 레이저의 출력을 측정하였다. 다이오드 레이저로부터 발진하는 광 에너지를 파이버를 통하여 시준기(Collimator)에 전달하여 광에너지

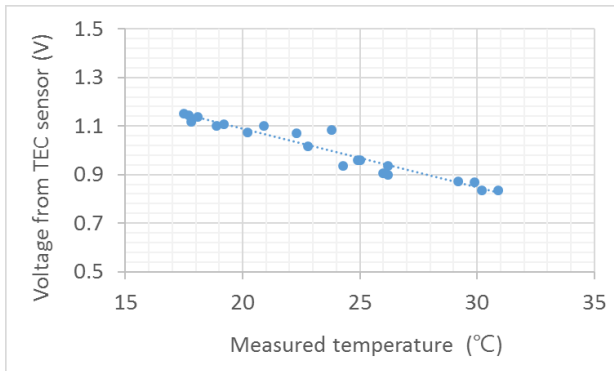


Fig. 4 Relations between measured temperature and displayed voltage

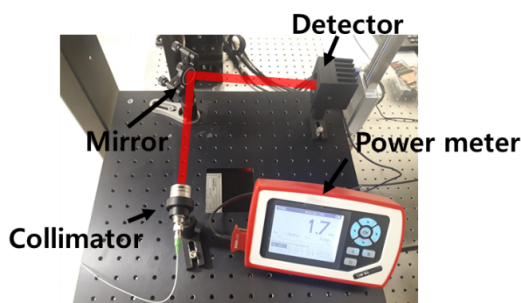


Fig. 5 System setup for laser power measurement

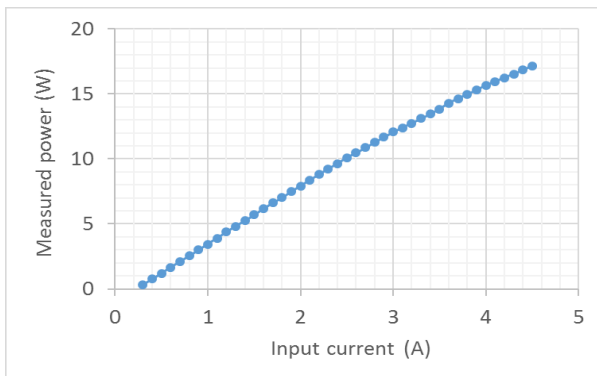


Fig. 6. Characteristics of diode laser power according to input current

지가 평행하게 진행하도록 유도하였으며, 이를 거울을 통하여 파워미터에 반사, 입력시켜 광에너지를 정량적으로 측정하는 방식이다. 이러한 방법을 통하여 다이오드 입력 전류 대비 출력되는 광에너지 양을 측정한 결과, Fig. 6과 같이, 증가되는 입력 전류에 대하여 약 3 A 입력까지는 거의 선형적인 광에너지의 출력 특성을 보였으며, 그 후 3 A 이상의 전류입력에서는 광에너지 출력에 약간의 비선형성을 보였다. 이를 통하여 제작된 다이오드 레이저의 유효 출력 범위를 3 A, 12 W로 한정하여 사용하였다. 입력 전류에 따른 출력 특성의 파악과 더불어 고정 전류의 입력에 따른 출력 특성을 확인하였다. 이 때 인가한 전류 값은 0.5 A (1.2 W)로 설정

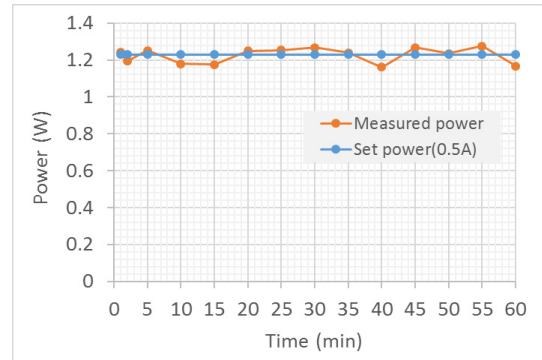


Fig. 7 Power stability of the laser according to irradiation time

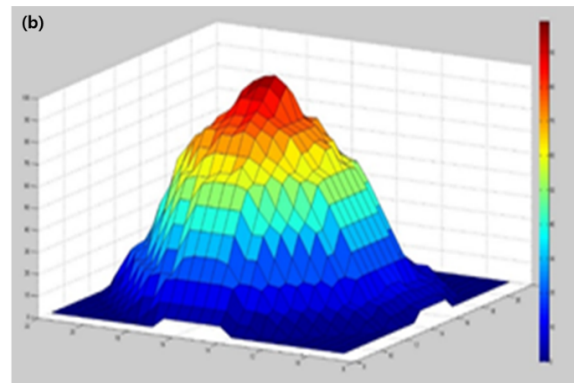
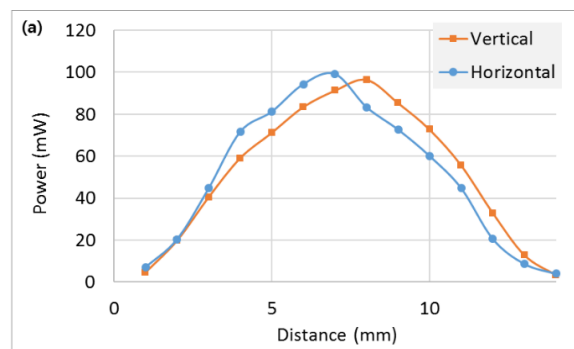


Fig. 8 Beam profile of the fabricated diode laser

하였으며, Fig. 7과 같이 약 60분 간 출력 특성을 관찰하였다. 그 결과, 요구출력대비 실제 출력 값의 변화율이 1.5% 미만으로 안정적인 출력 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 대표적인 파이버 레이저 제조사인 IPG사의 상용 CW 파이버 레이저(YLM 모델) 출력안정성인 2%보다 안정적인 수치임을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 개발한 레이저의 적용분야가 저출력 소결공정인 점을 감안할 때, 레이저의 안정성만큼 중요한 것이 레이저 빔의 균일도라고 할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 나이프엣지(knife-edge) 방법을 사용하여 빔 프로파일의 2차원 형상을 Fig. 8(a)와 같이 수직, 수평방향으로 측정하고 측정된 데이터를 바탕으로 빔의 3차원 형상을 Fig. 8(b)와 같이 계산하였다³⁾. 이를 통하여 파이버 특성에 의한 약간의 프로파일 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있었

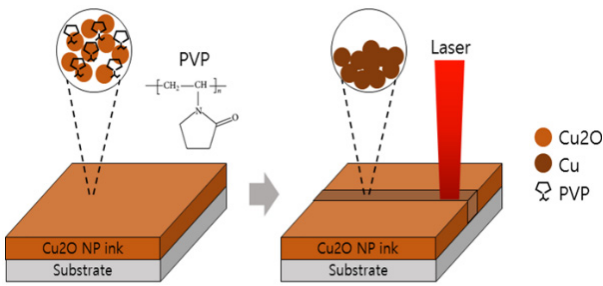


Fig. 9 Schematic of copper (I) oxide laser sintering process

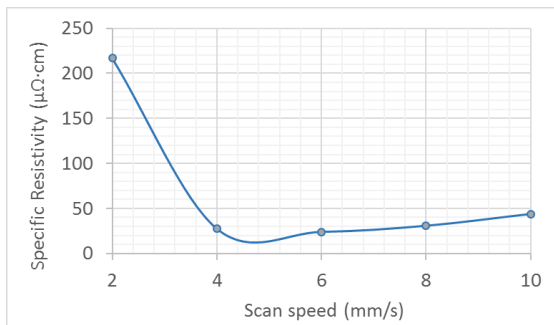


Fig. 10 Specific resistivity of fabricated electrode pattern according to scan speed

으나 프로파일 특성은 파이버 레이저와 유사한 형태인 Flat-top 형태[4]를 보이므로 소결공정에 문제없이 적용 가능한 수준으로 판단, 이를 검증하기 위한 나노입자 소결공정에 본 레이저를 적용하였다.

3. 다이오드 레이저를 이용한 전자소자 제작

앞서 제작된 다이오드 레이저 특성 평가를 위한 전자소자 제작의 과정은 다음과 같다. 먼저 전자소자 제조에 필요한 나노입자를 준비하고 이를 스핀코터를 사용하여 기판에 코팅하였다. 코팅된 나노입자를 다양한 레이저 조사 조건에 따라 소결, 조건에 따른 소결특성이 기존의 레이저 소결 공정의 특성과 유사한 지를 확인하였다.

3.1 전극제조 특성평가

전극제조에 사용된 나노입자는 제1산화구리 나노입자로, Fig. 9와 같이 레이저 조사부위에서의 광열화학반응에 의한 환원제와의 상호작용에 의해 구리로 환원됨과 동시에 기판상에 소결되어 전극패턴을 형성한다^[5,6]. 이러한 원리를 바탕으로, 준비된 나노입자에 레이저를 조사한 후 조사조건에 따른 경향성을 비저항을 통하여 확인하였다. 레이저 조사조건은 2 W의 레이저 출력에서 조사속도만을 변경하여 실험하였으며 그 결과, Fig. 10과 같은 비저항 변화

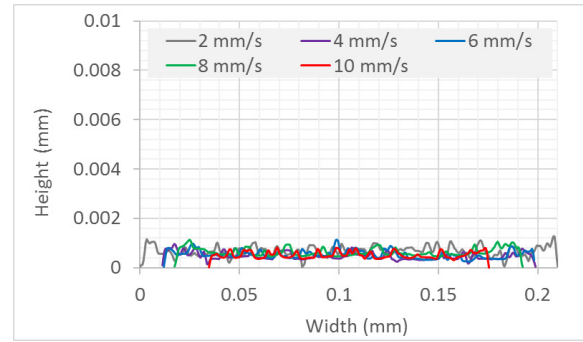


Fig. 11 Section profile of the electrode pattern according to scan speed

경향을 확인할 수 있었다. 일반적 나노입자 레이저 소결공정과 같이 낮은 조사속도에서 패턴의 손상에 의한 높은 비저항 값을 확인할 수 있었으며, 조사속도가 일정 값 이상 빨라지면 비교적 안정적인 비저항 특성을 보이는 것을 알 수 있었다. 보다 구체적인 비교를 위하여 Fig. 11과 같이 단면형상을 3차원 현미경을 사용하여 측정하였다. 그 결과, 레이저 조사 속도에 따라 두께에는 큰 변화가 없었지만 선평의 경우에는 속도가 빨라질수록 더 좁아지는 경향을 확인하였다. 이는 앞서 측정한 비저항 값에서 4 mm/s 이상의 조사속도에서 속도가 빨라질수록 비저항이 조금씩 증가하는 경향을 보인 것과는 반대되는 결과로, 레이저 조사속도가 빨라질수록 선평은 감소하지만 소결의 불안정성이 증가함에 따라 비저항은 높아진다는 것을 알 수 있다^[7].

3.2 전자소자 제조

앞서 수행한 전극패턴 제조공정 최적화를 바탕으로 소자를 제작해보았다. 패턴제조에 낮은 비저항 및 안정성을 바탕으로 레이저 출력 2 W, 조사속도 6 mm/s에서의 패턴제조가 최적이라고 판단, 해당 조건을 사용하여 소자를 제작하였으며 Fig. 12(a)와 같은 형태의 도면을 이용하여 패턴을 제조하였다. 제조된 패턴을 통하여 1 A, 10 V의 전력을 인가했을 때 전극표면에서 발생하는 열에너지를 온도측정기(Flir one, FLIR사)를 이용하여 측정한 결과, Fig. 12(b)와 같이 비교적 균일한 온도 분포를 확인할 수 있었고 이를 통하여 패턴이 균일하게 제조되었음을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 저출력 레이저 소결을 위한 저가형 다이오드 레이저를 제작하고 그 레이저의 특성을 다양한 방법을 통하여 검증하였다. 인가전류에 따른 출력안정성 및 시간에 따른 출력안정성을 바탕으로 빔 프로파일의 분포 균일성을 확인하였고, 나노입자 레이저 소결 공정에 레이저를 적용하여 조건별로 전극패턴 제조공

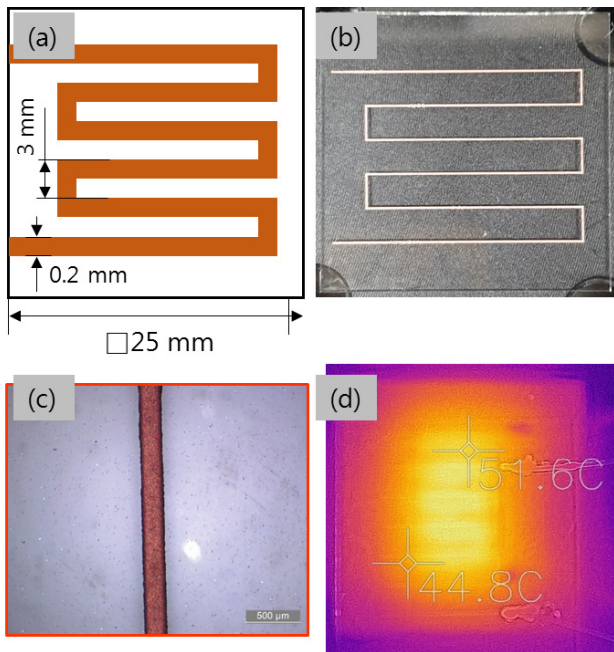


Fig. 12 (a) Draft of heat pad, (b) Fabricated heat pad, (c) microscopic view of heat pad pattern and (d) temperature distribution of the electrode pattern of heat pad

정을 수행한 결과 일반적인 레이저 소결공정의 특성값을 얻을 수 있었으며, 레이저를 사용하여 제조된 전극패턴의 균일한 소자특성 구현을 바탕으로 레이저 출력의 안정성과 신뢰성을 검증하였다. 추후 본 레이저의 적용을 통한 다양한 저출력 공정의 가능성을 추가적으로 검증해 볼 예정이다.

후 기

이 논문은 2017년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2017R1D1A1B 03031307).

References

- [1] Park, J. Y., Park, J. S., 2013, The Present Status and Future Aspects of the Market for Printed Electronics, Journal of The Korea Institute of Information and Communication Engineering, 17:2 264-268, <https://doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.2.263>.
- [2] Rho, J. W., Kim, J. H., Lee, C. K., 2008, An Overview of Selective Laser Sintering, Journal of The Korea Welding and Joining Society, 26:4 34-37, <https://doi.org/10.5781/KWJS.2008.26.4.034>.
- [3] Mario, F. G., Pedro, A., Rufino, D. U., 2013, Gaussian Beam Radius Measurement with a Knife-edge: A Polynomial Approximation to the Inverse Error Function, Applied Optics, 52:16 3849-3855, <https://doi.org/10.1364/AO.52.003849>.
- [4] Asadpour, A., and Golnabi, H., 2010, Fiber Output Beam Shape Study Using Imaging Technique, Journal of Applied Sciences, 10:4 312-318, <https://doi.org/10.3923/jas.2010.312.318>.
- [5] Lee, H. S., Yang, M. Y., 2015, Effect of Solvent and PVP on Electrode Conductivity in Laser-induced Reduction Process, Applied Physics A: Materials Science and Processing, 119:1 317-319, <https://doi.org/10.1007/s00339-014-8970-6>.
- [6] Lee, H. S., Yang, M. Y., 2015, The Effect of Negative Pressure Aging on the Aggregation of Cu₂O Nanoparticles and Its Application to Laser Induced Copper Electrode Fabrication, Physical Chemistry Chemical Physics, 17:6 4360-4362, <https://doi.org/10.1039/C4CP04769A>.
- [7] Lee, H. S., Yang, M. Y., 2016, Copper Interconnects Based on Copper(I) Oxide Particle Based Precursor Ink Technology—Material Composition Optimization and Reliability, IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 16:4 604-609, <https://doi.org/10.1109/TDMR.2016.2612940>.