

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR 3D OBJECTS REPLICATION

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИИ ЗА 3D РЕПЛИКИРАНЕ НА ОБЕКТИ

Ivanka D. Tsvetkova, Plamen Z. Zahariev

Department of Telecommunications, University of Ruse “Angel Kanchev”, Studentska str. 8, Ruse 7017, Bulgaria, tel. 0035982/888663, e-mail: itsvetkova@uni-ruse.bg, pzahariev@uni-ruse.bg

Иванка Д. Цветкова, Пламен З. Захариев

Катедра „Телекомуникации“, Русенски Университет „Ангел Кънчев“, ул. Студентска № 8, ПК 7017, гр. Русе, тел. 082/888663, e-mail: itsvetkova@uni-ruse.bg, pzahariev@uni-ruse.bg

Keywords: 3D printing, 3D printers, 3D technologies

Abstract – 3D printing turns digital 3D models into solid objects by building them up in layers. The technology was first invented in the 1980s, and since that time has been used for rapid prototyping. When the layer is finished, it's moved up or down and the next layer is started to be worked on until printing is completed. Already it is possible to 3D print in a wide range of materials that include thermoplastics, thermoplastic composites, pure metals, metal alloys, ceramics, resin, wax, nylon, plastic or metal laminates, standard paper and various forms of food. In basic terms there are four categories of 3D printer, but the technologies are more than four. In this paper different technologies for 3D printing are analyzed and compared.

Резюме – 3D печатането превръща цифровите 3D модели в солидни обекти като ги изгражда слой по слой. Технологията за първи път е създадена през 1980-те години и от тогава се използва най-често за бързо създаване на прототипи. Когато слой е завършен, започва отпечатването на следващия слой върху предишния, докато не се завърши обекта. В днешно време има голямо разнообразие от материали, с които да се печата, включително термопластмаса, смеси на термопластмаса, чисти метали, метални сплави, керамика, смола, восък, найлон, пластмасови или метални слоеве, стандартна хартия и различни форми на храна. Съществуват четири основни категории принтери, но технологиите, при които се използват, са повече от четири. В тази статия се анализират и сравняват различните технологии за 3D репликиране на обекти.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

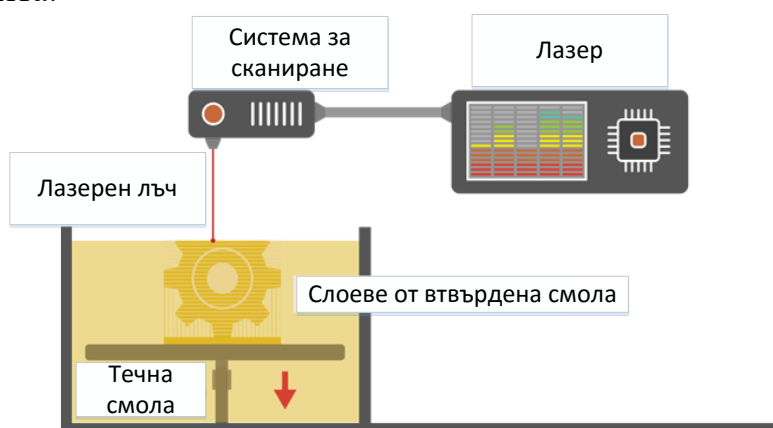
3D изграждането на обекти, известно още като допълнително производство, превръща цифровите 3D модели в масивни обекти, като ги изгражда слой по слой [13]. Това обхваща множество процеси и технологии. Всекидневно се увеличава потреблението на 3D принтерите. Съществуват 4 категории 3D принтери: които извличат разтопен или полутечен материал; които втвърдяват фоточувствителни смоли; които свързват или разтопяват гранули от прахообразен материал; които залепят парчета хартия, пластмаса или метал. Технологиите, които ги използват са много повече. В следващите параграфи ще се анализират и сравнят най-разпространените методи.

2. АНАЛИЗ НА СЪЩЕСТВУВАЩИТЕ 3D ТЕХНОЛОГИИ ЗА РЕПЛИКИРАНЕ НА ОБЕКТИ

Процесът за репликиране на обекти винаги започва с компютърно създаден модел (CAD модел) или цифрово сканиране. След това той се обработва от „разрязващ софтуер“, който да го раздели на слоеве [2, 3]. Съществува формат, наречен стандартен мозаечен език (Standard Tessellation Language (STL)), който често се използва. Технологиите използват непрекъснато печатане на слой по слой, тъй като STL файла, който принтиращата машина използва, съдържа информацията за всеки слой.

2.1 Стереолитография

Стереолитографията (stereolithography (SLA)) е лазерно базиран процес. На фиг. 1 схематично е изобразен процесът по изграждане на обекти при стереолитографията.



Фиг. 1 Схема на процесът при изграждане на обект чрез стереолитографията

Фото полимерната смола се довежда до вана с подвижна платформа в нея. Лазерен лъч се насочва по X-Y осите по повърхността на смолата според зададеното от файла. След като слой е изграден, платформата се смъква във ваната по Z-оста и започва изграждането на следващия слой [6].

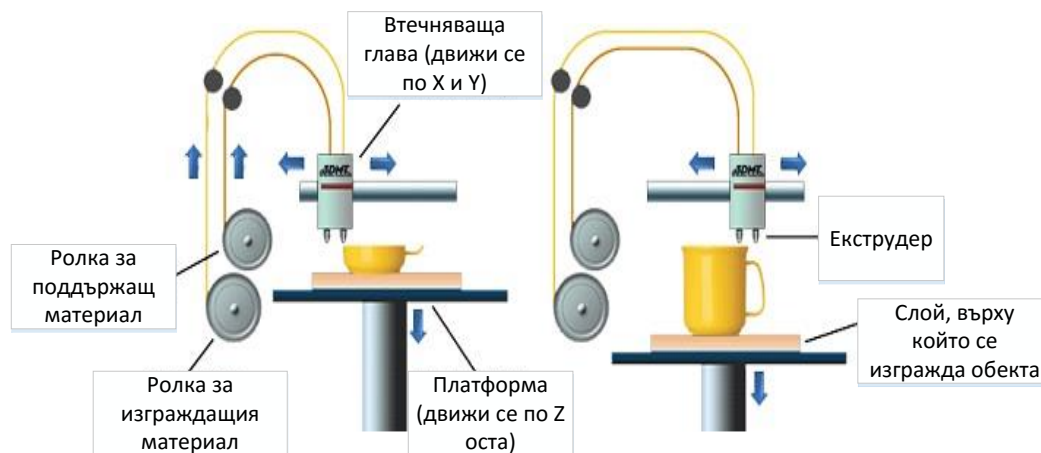
2.2 Технология цифрово обработване на светлина

При технологията цифрово обработване на светлина (digital light processing (DLP)) се използва дъгова лампа или устройство с деформиращо огледало (УДО), което се прилага върху цялата повърхност на ваната на фото полимерната смола с едно минаване, което я прави по-бърза от SLA [17]. Друго предимство е, че е необходима по-плитка вана за смолата, което води до по-малко загуби и по-ниска цена. Също като при SLA, DLP създава много точни части с отлична резолюция, но сходствата в технологиите означава и наличието на идентични недостатъци.

2.3 Технология моделиране чрез отлагане на разтопен материал

Процесът при технологията моделиране чрез отлагане на разтопен материал (fused deposition modeling (FDM)) работи чрез стопяване на пластмаса, която се избутва и изгражда слой на платформа според подадените данни на принтера

[11, 12]. Отпечатаните детайли са с отлични механични, термични и химични качества [5]. Когато възпроизвеждането на обекта е завършено, поддържащите материали могат лесно да се премахнат като се постави обекта във вода или препарат за почистване, както и да се отчупят на ръка. На фиг. 2 са показани основните компоненти, които се използват при тази технология.

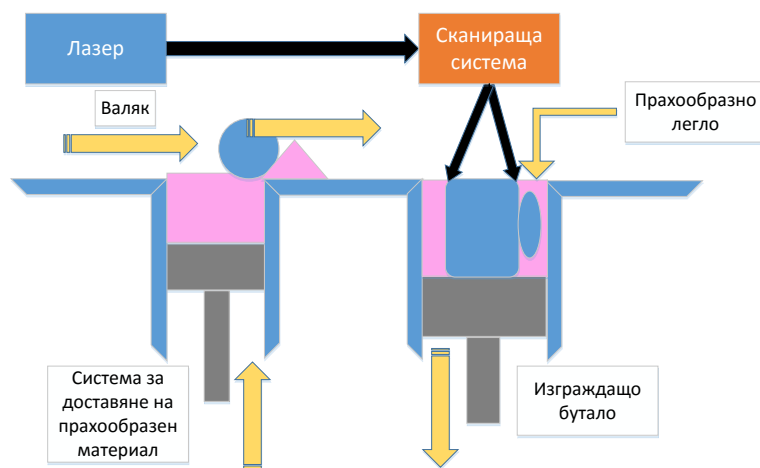


Фиг. 2 Схема на процесът при репликиране на обект при моделиране чрез отлагане на разтопен материал

Слоят, върху който се изгражда обекта, се използва за по-лесното премахване на готовата част от платформата.

2.4 Лазерно изпичане и лазерно топене

При избирателното лазерно изпичане (selective laser sintering (SLS)) няма нужда от поддържащи структури, понеже при създаването на обекта той е постоянно обграден от не изпечен прахообразен материал, както е показано на фиг. 3.



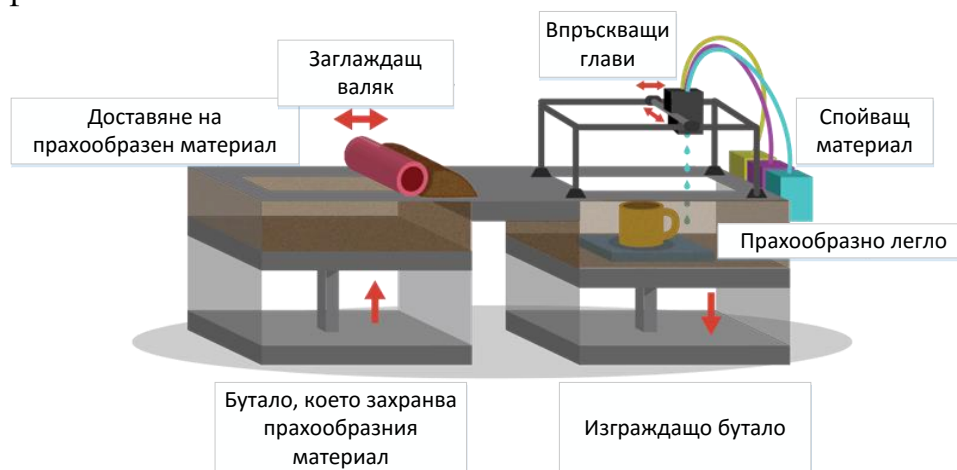
Фиг. 3 Схема на процесът при репликиране на обект чрез избирателно лазерно изпичане

При завършването на всеки слой леглото с прахообразен материал се смъква постепенно и валяк изглажда повърхността му преди да премине отново лазера и да изгради следващия слой [15]. При металното изпичане е необходим лазер с много по-мощно захранване и по-високи температури по време на процеса [8].

Основната разлика между SLS и процесът избирателно лазерно топене (selective laser melting (SLM)) е, че металният материал се разтапя напълно, докато се изгражда 3D обекта [14].

2.5 Технология с впръскване на материал

При технологията с впръскване на материал за спойване (binder jetting) материалът, който се изхвърля като струя, е спойващ и се разпръсква избирателно върху легло с прахообразен материал, за да се разтопи в даден слой, докато се изгради частта [16]. Процесът с основните компоненти е показан на фиг. 4.



Фиг. 4 Схема на процеса при възпроизвеждане на обект чрез впръскване на материал за спойване

Впръскване на материала за изграждане на обекта (material jetting) е 3D печатащ процес, при който материалите, с които се изгражда обекта (в течно или разтопено състояние), са избирателно впръсквани чрез няколко впръскващи глави [9]. Естеството на тази технология дава възможност една част да се получи от различни материали с различни характеристики и свойства.

2.6 Топене с електронен лъч

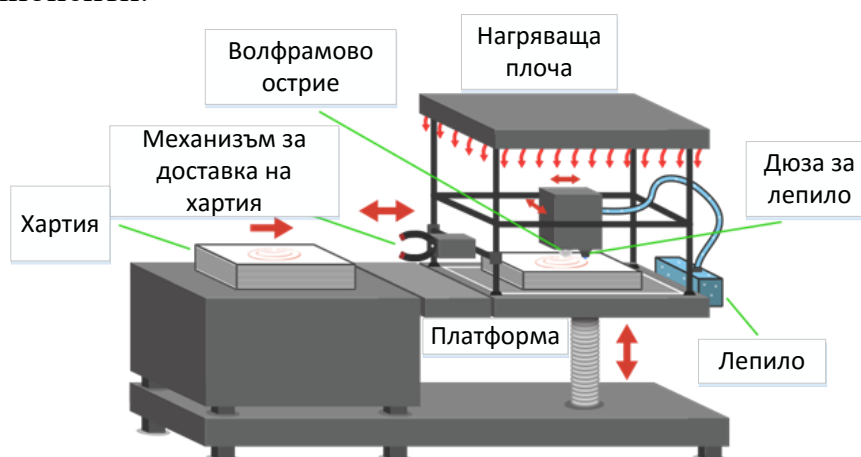
Топенето с електронен лъч (electron beam melting (EBM)) е друг вид производство на метални части. Докато SLM използва високо мощен лазерен лъч като източник на енергия, EBM използва вместо това електронен лъч, което е и основната разлика между тези два метода [7]. Чрез EBM се създават напълно плътни части с различни метални сплави, дори за медицинския клас на точност и в резултат е особено подходяща за създаване на импланти.

2.7 Технология за производство на слоест обект

По време на процеса при технологията за производство на слоест обект (laminated object manufacturing (LOM)) слоевете от хартия, пластмаса или метал, покрити със слепващо вещество, се слепват заедно, като се използва топлина и налягане и след това се изрязват с компютърно контролиран лазер или нож [1, 10]. Основен недостатък е, че обектът може да се повреди при отстраняване на излишния материал.

2.8 Технология за репликиране на обект чрез наслявяване с избирателно отлагане

При процесът на възпроизвеждане на обект чрез наслявяване с избирателно отлагане (selective deposition lamination (SDL)) всеки нов слой е фиксиран към предишния слой с помощта на лепило, което се прилага избирателно според 3D данните, предоставяни на машината [4]. Следователно много по-висока плътност на лепило се нанася в областта, която ще се превърне в частта, и много по-ниска плътност - се нанася в околността, която ще служи като поддържаща структура, като се гарантира сравнително лесно отстраняване на излишния материал. Този процес е представен на фиг. 5, където са показани основните компоненти.



Фиг. 5 Схема на процесът при репликиране на обект чрез наслявяване с избирателно отлагане

SDL е един от много малкото процеси за 3D печат, които могат да произвеждат пълноцветно 3D отпечатани части.

3. СРАВНЕНИЕ НА АНАЛИЗИРАНИТЕ 3D ТЕХНОЛОГИИ ЗА РЕПЛИКИРАНЕ НА ОБЕКТИ

Основното приложение на 3D технологиите за репликиране на обекти е при създаването на прототипи. SLA се използва при създаване на модели за отливки. Технологията DLP е подходяща при създаване на модели за леене под налягане и металолеенето. FDM най-често се използва за поддържащи части и крайни продукти. Чрез SLS е подходящо създаването на поддържащи части, космически и ракетни компоненти. Чрез SLM могат да се създават части със сложна геометрия, с тънки стени и скрити кухини или канали и инструменти. ВJ се използва при създаване на екологични части, модели за отливки, сърцевини и матрици. Подходяща технология за създаване на модели за отливки е и MJ. EBM е подходяща при изграждане на поддържащи части, импланти, космически части и автомобилостроенето. Чрез LOM могат да се създават матрици и функционални части. SDL се използва в същите случаи, както и последната технология, но обектите могат да са пълноцветни. В табл. 1 са показани материалите, които се използват при анализираниите технологии.

ТАБЛ. 1 ИЗПОЛЗВАНИТЕ МАТЕРИАЛИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕТО НА ОБЕКТИТЕ

технология	SLA	DLP	FDM	SDL	EVM
материал	фото полимерни смоли	фото полимери	термо пластмаси, ABS и PLA	копирна хартия	метал или месинг
технология	VJ	MJ	LOM	SLS	SLM
материал	прахообразни материали (керамика и храна)	течни фото полимери смоли и восък	пластмасови или метални листи	прахообразни материали (найлон, стъкло, сребро)	прахообразен метал (титаний, кобалт, алуминий)

В табл. 2 са обобщени предимствата, недостатъците и необходимата обработка на обектите след възпроизвеждането им при технологиите, които използват прахообразен материал.

ТАБЛ. 2 СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ ТЕХНОЛОГИИТЕ, ПРИ КОИТО СЕ ИЗПОЛЗВА ПРАХООБРАЗЕН МАТЕРИАЛ

технология	предимства	недостатъци	последваща обработка
SLS	устойчивост на висока топлина и химикали, висока скорост	точността зависи от размера на материала, груба повърхност	с цел подобряване на толеранса и повърхността
SLM	компоненти с висока плътност	бавно и скъпо	термична обработка
VJ	ниска цена, пълноцветно, висока скорост	ограничен избор на материали, чупливи части	начални стъпки при процеси като изпичане или отливки
EVM	добра печатаща скорост, по-малко изкривяване	ограничени материали, бавен и скъп процес	термична обработка и поддържащите структури трябва да се премахнат механично

Общо предимство за всички разгледани технологии в табл. 2 е липсата на поддържаща конструкция, понеже тази роля се изпълнява от прахообразния материал, който заобикаля обекта по време на неговото изграждане. Три от технологиите са лезерно базирани, докато при VJ се връсква слепващ материал.

Репликираните обекти с последната технология обаче са и най-малко здрави. При SLS се получават много добри качества, но чрез SLM са по-здрави, за сметка на това повърхността им не е достатъчно гладка и за това трябва да се обработват допълнително. Класът на точност при EBM е изключително висок и за това тази технология се използва при изграждането на импланти.

Изградените обекти чрез SLA и DLP са с отлична повърхност и висока резолюция. При FDM получените детайли не са толкова точни, но са с отлични механични и химични качества. Много точни и с много гладка повърхност са обектите отпечатани чрез MJ. Също и чрез LOM получените крайни продукти са по-неточни от тези чрез SLA и SLS, но не са необходими допълнителни процеси като втвърдяване в сушилня. Получените обекти от SDL са здрави, устойчиви и екологични.

В табл. 3 са обобщени предимствата, недостатъците и необходимата обработка на обектите след възпроизвеждането им при останалите технологии. Общият им недостатък е необходимостта да се премахва излишния материал, който се използва като поддържаща конструкция. При SLA и DLP последващата обработка включва допълнителни съоразения, което усложнява и оскъпява процеса.

ТАБЛ. 3 СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ ОСТАНАЛИТЕ АНАЛИЗИРАНИ ТЕХНОЛОГИИ

технология	предимства	недостатъци	последваща обработка
SLA	сложна геометрия, детайлни обекти, гладка повърхност	последваща обработка	втвърдяване в сушилня чрез ултравиолетова светлина
DLP	сложни форми, висока точност	ограничения в дебелината, ограничени материали	химична баня, използване на ултравиолетова светлина
FDM	здрави части, лесни за употреба от непрофесионалисти	бавна, необходимост от поддържащи материали	като всяка пластмасова част
MJ	добра точност, добра повърхност, едновременно много материали	бавен процес	поддържащите конструкции са или механично премахвани или разтапяни
LOM	бърз процес	лепилото се прилага равномерно по цялата повърхност	пробиване, шлифване, запечатване с боя
SDL	пълноцветно, бърз и екологичен метод	размерът зависи от размера на суровината	необходимо е да се предпазват от влага

Само при SDL технологията 3D обектите са пълноцветни, здрави и процеса е екологичен.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията са анализирани и сравнени технологиите за 3D репликиране на обекти. Изключително интересно е да се отбележи, че създаването на всяка една технология отстранява някакъв недостатък на предходните, а основния недостатък на половината от технологиите е необходимостта да се премахват излишните конструкции или материали. Най-разпространената технология сред крайните потребители е FDM, понеже използваните материали са евтини, както и поради възможността сами да си изграждат принтерите. Единствената технология, чрез която могат да се създадат пълноцветни и здрави обекти е SDL, допълнително предимство е, че процеса е и екологичен. Все още има много предизвикателства пред 3D технологиите за създаване на обекти, понеже производство при крайното потребление е все още в начална фаза, но през следващите десетилетия и в комбинация със синтетичната биология и нанотехнологиите, има потенциала да промени изцяло просеците свързани с дизайна, производството и логистиката.

Публикуваните резултати са получени при работа по проект 15.2.1.038 - Интерактивна визуализация на древноримското културно наследство в трансграничния регион между България и Румъния ARCHIVE и по проект ФНИ 2016-ФЕЕА-04 „Изследване влиянието на местоположението на контролерите в управляващата равнина върху производителността на софтуерно-дефинираните мрежи“, финансиран от Фонд „Научни изследвания“ на РУ „Ангел Кънчев“.

5. ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] B. K. Paul and V. Voorakarnam, Effect of layer thickness and orientation angle on surface roughness in laminated object manufacturing, Journal of manufacturing processes 3.2, 2001, pp 94-101
- [2] B. P. Conner, G. P. Manogharan, A. N. Martof, L. M. Rodomsky, C. M. Rodomsky, D. C. Jordan, J. W. Limperos, Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services, Additive Manufacturing, Volumes 1–4, October 2014, pp 64–76
- [3] C. Barnatt, 3D Printing: Second Edition, 2014, ISBN-13: 978-1502879790
- [4] C. K. Chua, K. F. Leong, Rapid prototyping: principles and applications. Vol. 1. World Scientific, 2003
- [5] D. Espalin, K. Arcaute, D. Rodriguez, F. Medina, M. Posner, R. Wicker, Fused deposition modeling of patient-specific polymethylmethacrylate implants, Rapid Prototyping Journal, Vol. 16 Iss: 3, 2009, pp.164 – 173
- [6] F. P.W. Melchelsa, J. Feijena, D. W. Grijpma, A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering, Biomaterials, Volume 31, Issue 24, August 2010, pp 6121–6130
- [7] L. E. Murr, S. M. Gaytan, D. A. Ramirez, E. Martinez, J. Hernandez, K. N. Amato, P. W. Shindo, F. R. Medina, R. B. Wicker, Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies, Journal of Materials Science & Technology 28.1, 2012, pp 1-14

- [8] M. Baumers, C. Tuck, DL Bourell et al, Sustainability of additive manufacturing: measuring the energy consumption of the laser sintering process. *IMEchE Part B: J Eng Manuf*, 2011, 225:2228–2239
- [9] M. Baumers, C. Tuck, P. Dickens, and R. Hague, How can material jetting systems be upgraded for more efficient multi-material additive manufacturing, *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication (SFF) Symposium*. Texas: The University of Texas at Austin, 2014
- [10] M. Feygin, B. Hsieh, Laminated object manufacturing (LOM): a simpler process. *The 2nd Solid Freeform Fabrication Symposium*, Austin, TX, 1991, pp 123–130
- [11] M. Hofmann, 3D Printing Gets a Boost and Opportunities with Polymer Materials, *ACS Macro Lett.*, 2014, 3 (4), pp 382–386
- [12] M. Nikzad, S.H. Masood, I. Sbarski, Thermo-mechanical properties of a highly filled polymeric composites for Fused Deposition Modeling, *Materials & Design*, Volume 32, Issue 6, June 2011, pp 3448–3456
- [13] R. Bogue, 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?, *Assembly Automation*, Vol. 33 Iss: 4, 2013, pp.307 - 311
- [14] S. Bremen, Dr. W. Meiners, A. Diatlov, Selective Laser Melting, *Laser Technik Journal*, Volume 9, Issue 2, April 2012, pp 33–38
- [15] S. Eshraghi, S. Das, Mechanical and microstructural properties of polycaprolactone scaffolds with one-dimensional, two-dimensional, and three-dimensional orthogonally oriented porous architectures produced by selective laser sintering, *Acta Biomaterialia*, Volume 6, Issue 7, July 2010, pp 2467–2476
- [16] S. M. Gaytan, M. A. Cadena, H. Karim, D. Delfin, Y. Lin, D. Espalin, E. MacDonald, R. B. Wicker, Fabrication of barium titanate by binder jetting additive manufacturing technology, *Ceramics International*, Volume 41, Issue 5, Part A, June 2015, pp 6610–6619
- [17] T. Wagner, C. F. Werner, K. Miyamoto, M. J. Schöning, T. Yoshinobu, Development and characterisation of a compact light-addressable potentiometric sensor (LAPS) based on the digital light processing (DLP) technology for flexible chemical imaging, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 170, 31 July 2012, pp 34–39