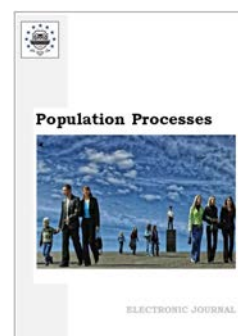


Copyright © 2025 by Cherkas Global University



Published in the USA
Population Processes
Issued since 2014.
E-ISSN: 2500-1051
2025. 10(1): 3-24

DOI: 10.13187/popul.2025.1.3
<https://pp.cherkasgu.press>



Articles

TIPS Strategies in the Development of Lensless Optical Systems: From Engineering to a Demographically Coordinated Social Economy

Oleg V. Gradov ^{a, *}

^a FRC CP RAS, Russian Federation

Abstract

The transition from the Asian mass production and extensive economies to knowledge-intensive, high-precision technologies is crucial as manufacturing shifts backward from Asia to Europe and USA. This shift not only reflects a change in geographical production line but also a fundamental transformation in the nature of labor and economic structure. In Asia (excluding contemporary China and, partly, "East Asian Tigers"), mass production relies heavily on low-cost labor performing repetitive tasks. This approach allows for high output at lower costs, but it often lacks innovation and efficiency. In contrast, Europe has the opportunity to embrace advanced technologies that focus on precision, automation, and knowledge-based processes. By adopting these high-tech methods, European industries can enhance productivity, improve product quality, and reduce environmental impact. However, the challenge lies in the scale of operations that Asian manufacturers are currently performing. The vast workforce in Asia can handle extensive production lines and high-volume tasks, which would require a significant portion of Europe's economically active population if implemented in the same way. Given that Europe's population (< 753 000 000 in 2024) is 6.4 times smaller than that of many Asian countries (> 4 800 000 000 in 2024), replicating such mass production practices would be impractical and unsustainable. Instead, Europe must leverage its strengths in research and development, innovation, and skilled labor to create a more sustainable economic model. By investing in high-tech solutions and fostering a culture of continuous improvement and learning, European industries can create jobs that are not only more fulfilling but also better aligned with the future of work. In conclusion, the shift from an extensive economy to a knowledge-based economy is not merely a matter of relocating production; it is about redefining how we think about manufacturing and labor. By prioritizing high-precision technologies and innovation, Europe can carve out a competitive advantage while ensuring a more sustainable and prosperous future for its workforce. The text considers conventional lens-less microscopy as an example of proposed approach that can be extended to other devices based on similar optical principles. This ensures the universality of the proposed approach and its applicability in various lens-less instrumentation fields.

Keywords: TIPS, Asian mass production, extensive economies, labor and economic structure, Asian demography, European demography, re-industrialization, lens-less instrumentation industry, lens-less microscopy.

* Corresponding author

E-mail addresses: o.v.gradov@gmail.com (O.V. Gradov)

1. Введение

Основными путями качественной экономии/понижения себестоимости в приборостроении являются уменьшение числа сборочных операций и иных стадий технологического процесса, а также сопряженное с этим уменьшение числа деталей/комплектующих, на компоновку которых тратится время (Issa, Eid, 2013), человеческий ресурс (Pudlowski, 2009), фонд оплаты труда (Hollander, 1984; Donoghue, 1997), амортизационные расходы (Obimah, 2018). Следовательно, любое не влияющее на функциональность продукта либо его надежность/робастность уменьшение числа деталей является принципом экономии не только на комплектующих, но и на иных сопутствующих сборке статьях расхода. Такие решения, как переход к отверточной сборке, являются экономически-эффективными лишь в аспекте труда, так как сборка чего-либо из уже готовых деталей не отрицает то, что эти детали должны быть где-либо произведены до этого (даже при меньших расходах фонда оплаты труда). Так как перенос досборочных частей технологического процесса в организации и страны с более низкой оплатой труда (как правило – развивающиеся страны) столь же решает проблему экономической оптимизации конструкции тех или иных изделий и техпроцессов, как апеллирование к экзогенной панспермии в астрохимии и теории химической эволюции решает проблему возникновения земной жизни, нельзя считать это инженерным конструкторским решением задачи, на которое может и должна опираться умная экономика будущего (Mandel, 2008).

Нужно найти не способ уменьшения расходов путём увеличения уровня эксплуатации низкооплачиваемого штата (или аутсорсных ресурсов, включая вывод производства в третьи страны), а способ уменьшения числа компонент изделия и сборочных операций, который позволит использовать не бросовый неквалифицированный труд, препятствующий развитию умной экономики, а квалифицированный и не изматывающий сверхэксплуатацией человека труд, при оптимизации которого уровень экономической эффективности растёт, не ухудшая состояние трудящихся сотрудников, трудовых ресурсов. Очевидно, что в данном случае следует стремиться, прежде всего, к поиску конструкций изделий, уменьшающих эксплуатацию труда (вместе с фондами оплаты труда, но без уменьшения удельных ассигнований на штатную единицу) (Gradov, 2025).

Соответственно вышеизложенным тезисам, поиск решения надо искать в области теории решения изобретательских задач. Для алгоритмизированного, экономически-эффективного решения таких задач существует ТРИЗ – теория решения изобретательских задач (Ilevbare et al., 2013). Она активно применяется по всему миру при экономической оптимизации технологических процессов и изделий (Yamashina et al., 2002; Spreafico, Russo, 2016). Предельной целью использования ТРИЗ является достижение идеального, то есть оптимального по соотношению «цена-качество», конечного решения, но, в отличие от редуцированных экономических схем, отчужденных от объекта, предмета труда, и от субъекта (трудящегося персонала), понятие «отношения цены и качества» интерпретируется здесь в более широком смысле (т.е. *sensu lato*), учитывающем не только экономические показатели, но и иные ресурсы. Под «идеальностью» понимается отношение полезных функций технической системы к «факторам расплаты», то есть затратам на их выполнение, включая человеческие ресурсы (силы, здоровье, время людей – тоже интерпретируемо как ресурс). Для чисто технической системы идеальный конечный результат, в пределе, звучит так: «структуры или системы нет, а функция выполняется» (Chen, Liu, 2001; Stratton, Mann, 2003; Bariani et al., 2004; Moehrl, 2005; Cascini, Russo, 2007; Cavallucci, Khomenko, 2007; Cong, Tong, 2008; Shirwaiker, Okudan, 2008; Su, Lin, 2008; Yeh et al., 2011; Yang, Chen, 2012; Chechurin, Borgianni, 2016; Liu et al., 2020).

Если говорить о технологических операциях, то очевидна экстраполяция того же принципа: «технологической операции не производится, а результат, реализуемый обычно (благодаря ей) в изделии, достигается». Если говорить о затратах трудовых ресурсов, то высвобождение человеко-часов оказывается, в случае рассмотрения их как ресурса, средством для увеличения массовости и объёмов производства. Следовательно, уникальное приборостроение в умной экономике может быть переведено на массовые рельсы при сохранении часов занятости высококвалифицированных кадров и уровня оплаты труда, если от К-стратегии перейти к г-стратегии, редуцируя физически ненужные детали и функционально комплексируя их в рамках системотехнической интеграции и

микроминиатюризации. Конкуренция с азиатским способом производства, по определению, не предполагает штучных единиц продукции (обратные факты не вписывались бы в эмпирически подтверждаемую *r/K selection theory* – т.к. не соответствовали бы *Verhulst model* (Guo et al., 2005; Evans, 2014; Zeng et al., 2020), а это ставит под вопрос само существование высокотехнологичной продукции в Европе по элементарным демографическим причинам (исключая случаи, когда фабры находятся в КНР и других азиатских странах, а в ЕС осуществляется только дизайн/R&D). В идеальном конечном решении, пригодном для конкурентоспособной Европы без порядкового увеличения плотности народонаселения, необходимо, чтобы были элиминированы именно те рутинные операции, на применении которых задействовано максимальное количество кадров (например, в сборке в Азии), а конечный результат использования продукта, при этом, не пострадал бы, но только подчеркнул «умный» характер инновационного социума европейской цивилизации, в её новой формации, в нацеленном на развитие творческих сил личности *eco-friendly* варианте (Jacoby, 1971; Goldsmith, 1984; Kirton, De Ciantis, 1986; Åmo, Kolvereid, 2005; Steel et al., 2012; Rossberger, 2014; Stock et al., 2016; Chen et al., 2021).

Пример, рассматриваемый в данной статье, относится к микроскопии, но в дальнейшем будет распространен на ряд качественно иных устройств (хотя и на тех же оптических принципах, что автор знает по опыту работы над этой техникой в роли конструктора и, в дальнейшем, руководителя коллектива). В каждой биологической лаборатории, в большинстве материаловедческих или микроэлектронных лабораторий есть микроскопы. Поэтому на этом примере достаточно легко доказать правомерность нашего подхода и иллюстрировать возможность его распространение на многие смежные области.

3. Обсуждение и результаты

Предмет рассмотрения

Современные оптические микроскопы, в отличие от микроскопов XIX – первой половины XX века, представляют собой высокотехнологичные схемы изделий с многостадийным, диверсифицированным и распределенным (в том числе – на межгосударственном уровне) процессом производства. Объективы микроскопов, предназначенные для различных задач и условий исследования структуры объектов, настолько различаются по материалам и техпроцессам в различных по уровню точности метрологических системах, что производство всех типов объективов даже для одного производителя микроскопов в одном месте невозможно. Как можно видеть по многим статьям, разработка оптики, предназначенной для различных применений, сейчас становится доступной в бывших центрах производства лицензионной оптики (Китае, Индии, странах Юго-Восточной Азии), также как это наблюдается и для полупроводниковой фотоники (Hochberg, Baehr-Jones, 2010; Hochberg et al., 2013; Khan et al., 2019; Rahim, Baets, 2020). Однако даже переход к *fabless* подходам в таких странах (по аналогии с полупроводниковой и электронной промышленностью, Китае, Тайване, Корее, Индии (LaPedus, 1996, 1997; Hung, Yang, 2003; Shelton, 2004; Husain, 2004; Lu et al., 2004, 2010; Kim et al., 2007; Yoon, 2009; Aynampudi, 2012; Jiang, Hung, 2015; Kravchuk et al., 2017)), упрощая дизайн изделий в организационном плане, не решает проблем их технологической сложности – необходимости локализации множества производств деталей микроскопов и их сопряжения между собой. Количество производственных участков либо равно, либо пропорционально количеству узлов, поэтому даже такие гиганты индустрии, как бывшие немецкие оптические объединения, часто заказывают изготовление деталей, а нередко сборку вне ЕС. Это приводит к ухудшению метрологических качеств микроскопов (вплоть до оптического разрешения, в силу отличия стандартов и эталонов резольвотрии между странами (Konstantinov et al., 1966; Bykovskii et al., 1969) и различиями в трактовке терминов типа «разрешение» и «сверхразрешение») либо рассогласованию индивидуально качественных компонент при сборке.

Ещё более усложняется координация технологических процессов, путей логистики и хронометража отдельных операций в случае перехода к новым и новейшим модификациям микроскопов конца XX – начала XXI в., а именно – мехатронным и роботизированным микроскопам (Franceschi et al., 1987; Baïdun et al., 2003; Veldhuis et al., 2005; Gabba et al., 2012; Notchenko, Gradov, 2013; Antoni et al., 2015; Ferchaud et al., 2016; Xu et al., 2016;

Crawford-Young et al., 2018; Li et al., 2019; Ong et al., 2019; Collins et al., 2020), особенно – операционным хирургическим или микрохирургическим микроскопам (предъявляющим высокие требования в аспекте безопасности прижизненного исследования объекта исследования: человека или животного, часто с весьма большой точностью – порядка микрон, как в нейрохирургии, регенеративной клеточной медицине или автоматизированных микроперфузионных методах) (Bonsato et al., 1998; Tamaki et al., 1998; Lauer et al., 2002, 2006; Kantelhardt et al., 2013; Oppenlander et al., 2014; Klinger et al., 2018; Chakravarthi et al., 2018; Ghazali et al., 2020). Таким устройствам, при всей «прецизионности», обычно не хватает грубой надёжности, робастности, которая, объективно, достижима только при упрощении организации оптического тракта и мехатроники.

Предлагаемые подходы

Нами предлагается использовать для этого переход к безлинзовой сборке микроскопов. Известно, что основные части микроскопов составляют: eyepies/ocular lens with diopter adjustment, resolving nose piece, slide holder, condenser with iris diaphragm, light sources, coarse focus and fine focus, static or motorized stage (Tonna, Rogers, 1968; Weibel, 1970; Mao et al., 1997; Melvin et al., 2007; Ze-Jun, 2012). Безлинзовые микроскопы в настоящее время достигли того уровня разрешения и той функциональности, которая замещает практические области применимости всех существующих оптических микроскопов, кроме наиболее экзотических. Достигается не только высокое разрешение – порядка микрона и немногим ниже, как это было ещё несколько лет назад (Kanka et al., 2011; Garcia-Sucerquia, 2012; Hussain et al., 2019), но и сверхразрешение, *sensu lato* (в разных технических значениях и контекстах этого термина) (Micó, Zalevsky, 2010; Bishara et al., 2011; Sobieranski et al., 2015; Granero et al., 2016; Wang et al., 2017; Wang et al., 2019; Rostykus et al., 2018; Liu et al., 2019; Song et al., 2020), вплоть до субпиксельной дисперсности, то есть размера наночастиц (Yang et al., 2018; Gurram et al., 2020; Delikoyun et al., 2020). Временное разрешение для безлинзовых микроскопов ограничивалось до последнего времени частотой опроса портов и стандартами сбора видеоданных, однако в недавнее время было достигнуто экстремальное фемтосекундное разрешение (Mendoza-Yero et al., 2013). По спектральным свойствам, безлинзовые микроскопы позволяют регистрировать весь активный диапазон – от инфракрасного (Repetto et al., 2004) до ультрафиолетового (Harada et al., 2013; Mochi et al., 2017) (даже вакуумного УФ) и рентгеновского (Jacobsen, 2005; Burgess, 2006; Sandberg et al., 2008; Raymondson et al., 2009; Dai et al., 2010).

Безлинзовые микроскопы работают уже не только на просвет (в трансмиссионном или теновом режиме), но и полностью воспроизводят функционал флуоресцентных микроскопов (Coskun et al., 2010a, 2010b, 2011a, 2011b; Takehara et al., 2014; Sasagawa et al., 2018) и отражательных (напр. – металлографических) микроскопов (Hammadi, Morin, 2006; Lee et al., 2011; Adinda-Ougba et al., 2015; Imanbekova et al., 2020; Li et al., 2021). При этом, для упрощения и удешевления конструкции в качестве источников света (столь же компактных, как и безлинзовый микроскоп) применяются как некогерентные light emission diodes (Repetto et al., 2004; Ryle et al., 2010; Garcia-Sucerquia, 2012, 2015; Adinda-Ougba et al., 2015; Zuo et al., 2015a, 2015b; Scholz et al., 2018; Heer et al., 2018; Gradov, 2019; Hassan et al., 2020), так и лазерные диоды или компактные DPSSL (Garcia-Sucerquia, 2016; Mendoza-Yero et al., 2016; Göring et al., 2017). Иными словами, сборка и кастомизация под конкретные задачи конкретного потребителя безлинзового микроскопа не представляет труда. Таким образом снимается старая дилемма кастомизации и унификации. Сборка базового звена (PCB with CCD or CMOS array chip) как заменителя почти всего набора компонент микроскопа (eyepies or ocular lenses with diopter adjustment, resolving nose piece, slide holder, coarse focus and fine focus, stage for slide holding and positioning), производящаяся по массовой технологии автоматически (нередко – в роботизированных фабах), замещает практически всю наполовину ручную сборку высокопрецизионных оптических микроскопов, кроме монтажа источника света (condenser with iris diaphragm, light sources). Монтаж же источников света и насадок, с которыми достигается дополнительная функциональность микроскопа (вплоть до DIC – дифференциального интерференционного контраста (Oh et al., 2010), а также «лазерной интерференционной томографии» (Sauer et al., 2017)) является индивидуальной операцией / стадией сборочного процесса. При этом она

может быть упрощена (вплоть до уровня LEGO ([Hsieh et al., 2014](#); [Fresnel et al., 2017](#); [Temiz, 2020](#); [Vos et al., 2021](#))) и делегироваться конечному пользователю – при этом давая ему возможность собрать за несколько минут микроскоп нужного ему типа (одного из нескольких десятков принципиально реализуемых, если говорить о безлинзовой схеме детектора).

Принципиальным звеном экономии (и упрощения конструкции) является удаление различающихся типов объективов, кастомизируемых под отличные методы, типы регистрации ([Han et al., 1992](#); [Hao, 1997](#); [Dong et al., 2004](#); [Van Elburg et al., 2007](#); [Liu, Hua, 2011](#); [Lan et al., 2015](#)). В безлинзовом микроскопе нет проблемы сборки и адаптации объективов и окуляров или объектива и камер, ставящихся на бинокулярное или тринокулярное звено. В отличие от методов пользовательского конструирования линзовой микроскопической техники, в том числе – мультиобъективной (такой, как OpenSPIM ([Pitrone et al., 2013, 2015](#); [Girstmairet al., 2016](#); [Marx, 2016](#); [Rocha et al., 2019](#))), этот тренд создания кастомизируемых микроскопических систем не требует такой номенклатуры деталей и, благодаря этому, опять же, дешевле и много проще в производстве. Таким образом, безлинзовая микроскопия явно представляет disruptive innovation, меняющую соотношение ценностей в силу элиминации самой структуры ценностей стандартных больших оптических микроскопов, включая их кастомизируемые версии ([Paap, Katz, 2004](#); [Markides, 2006](#); [Schmidt et al., 2008](#); [King, Baatartogtokh, 2015](#); [Gobble, 2016](#); [Christensen et al., 2018](#); [Si, Chen, 2020](#)). Если же критерии конкуренции меняются, то и их начинает задавать лидирующий разработчик disruptive innovation product, а в случае кастомизируемого пользователем или нестабильного по конструкции (получаемого быстрым прототипированием с использованием пользовательских устройств – по высылаемому электронной почтой CAD-файлу ([Birch et al., 2017](#); [Tobon-Maya et al., 2021](#))), то критерии спроса задаёт пользователь – вместе с тем элиминируя временную задержку между временем получения данных в маркетинговых опросах и их влиянием на промышленность.

По существу, не существует проблемы спроса для устройства, обновляемого пользователем. В интересах производителя в данном случае – генерировать и стимулировать за счёт R&D (и рекламы новых видов микроскопии на безлинзовой платформе) потребности/заинтересованности пользователей в новой надстройке или же новой модификации, благодаря которой пользователь сможет иметь много, а не один безлинзовый микроскоп (благодаря его дешевой стоимости, в форме надстраиваемого модуля). «Порождать потребности, а не удовлетворять уже имеющиеся», в случае безлинзового микроскопа, собираемого пользователем под свои задачи, означает порождать потребность к научному, техническому творчеству и аутодидактизму через потребность в адаптации и кастомизации аппарата. Это придаёт новое социо-культурное значение задаче внедрения на практике безлинзовых микроскопов в массовое использование.

4. Заключение

В связи с этим предлагаемая комплексная гибридная схема представляется достаточно обоснованной, а идея высокоскоростной модульной кастомизации изделия (в рамках К-стратегии) при массовом изготовлении его базовой части, которому соответствует элиминация физически-ненужных блоков (в рамках простоты, свойственной г-стратегии), кажется путём к сохранению достаточно большой номенклатуры изделий на конвейере (аналогично критериям биологического разнообразия) без возникновения дилеммы уменьшения интеллектуализации или уменьшения числа выпускаемых приборов. Диверсификация такого типа является продуктивной и с позиций экологичности производства (утилизация кастомизированного изделия целиком заменяется репарацией или адаптацией под новые задачи/модернизацией, осуществляемой с сохранением деталей и унифицированных узлов сопряжения достаточно большой части устройства), и с пользовательских позиций. Робастность, требуемая от массивных изделий при К-стратегии, здесь заменяется репарировемостью/ремонтпригодностью, реализуемой заменой удешевленного блока, производимого по г-стратегии. Творческое развитие личности потребителя производится в ходе изучения им принципов работы (принципиально foolproof защищенного) устройства – при адаптации под свои нужды.

5. Благодарности

Автор благодарит Е.Д. Адамовича за обсуждение идей статьи как драйвера в экономике восточно-европейской реиндустриализации, а также за инициативу "шлифовки" текста абстракта статьи с применением технологий искусственного интеллекта, позволившую лучше акцентироваться на экономике и демографии, чем в изначальной версии автора (более технической по построению логики и в большей степени акцентированной конкретно на применении для безлинзового приборостроения).

Автор благодарит организаторов TRIZfest-2025 за внимательное отношение к новизне предлагаемого подхода.

Литература

Adinda-Ougba et al., 2015 – Adinda-Ougba A., Kabir B., Koukourakis N., Mitschker F., Gerhardt N.C., Hofmann M.R. Compact low-cost lensless digital holographic microscope for topographic measurements of microstructures in reflection geometry // *Proc. SPIE*. 2015. 9628: 962818.

Adinda-Ougba et al., 2015 – Adinda-Ougba A., Koukourakis N., Gerhardt N.C., Hofmann M.R. Simple concept for a wide-field lensless digital holographic microscope using a laser diode // *Current Directions in Biomedical Engineering*. 2015. 1(1): 261-264.

Åmo, Kolvereid, 2005 – Åmo B.W., Kolvereid L. Organizational strategy, individual personality and innovation behavior // *Journal of Enterprising Culture*. 2005. 13(01): 7-19.

Antoni et al., 2015 – Antoni S.T., Sonnenburg C., Saathoff T., Schlaefer A. Feasibility of interactive gesture control of a robotic microscope // *Current Directions in Biomedical Engineering*. 2015. 1(1): 164-167.

Aynampudi, 2012 – Subbarao, Aynampudi, India: A Fab-Less Wonder: Case of SMDP (October 2, 2012). [Electronic resource]. URL: <https://ssrn.com/abstract=2155540> DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2155540>

Baidun et al., 2003 – Baidun L.V., Kashpor S.A., Parpara A.A., Pliasunova S.A., Piatnitskiĭ A.M., Smetanina N.S., Sokolinskiĭ B.Z. Automatic erythrocytometry in a robotized microscope MEKOS-Ts1 // *Klinicheskaia laboratornaia diagnostika*. 2003. (6): 39-42. [in Russian]

Bariani et al., 2004 – Bariani P.F., Berti G.A., Lucchetta G. A combined DFMA and TRIZ approach to the simplification of product structure / *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2004. 218(8): 1023-1027.

Birch et al., 2017 – Birch G.C., LaCasse IV, C.F., Dagel A.L., Woo B.L. Lensless computational imaging using 3D printed transparent elements // *Proc SPIE*. 2017. 10222: 1022208.

Bishara et al., 2011 – Bishara W., Sikora U., Mudanyali O., Su T.W., Yaglidere O., Luckhart S., Ozcan A. Holographic pixel super-resolution in portable lensless on-chip microscopy using a fiber-optic array // *Lab on a Chip*. 2011. 11(7): 1276-1279.

Bonsato et al., 1998 – Bonsanto M.M., Staubert A., Samii A., Wirtz C.R., Tronnier V.M., Knauth M., Sommer C., Kunze S. Robotic guided endoscopy with the MKM microscope-An in-vitro study // *Zentralblatt für Neurochirurgie*. 1998. 59: P24-P24.

Burgess, 2006 – Burgess D.S. Lensless X-ray microscopy images nanocrystals // *Photonics Spectra*. 2006. 40(9): 102-102.

Bykovskii et al., 1969 – Bykovskii Y.A., Larkin A.I., Markilov A.A., Ryabova R.V., Samoilovich D.M. New High-Resolution Photographic Emulsions and Their Investigation by Means of Holographic Resolvometry // *Soviet Physics Doklady*. 1969. 14: 246. [Trans. Rus. Ver.: *Doklady Akademii Nauk*. 185(3): 552-554].

Cascini, Russo, 2007 – Cascini G., Russo D. Computer-aided analysis of patents and search for TRIZ contradictions // *International Journal of Product Development*. 2007. 4(1-2): 52-67.

Cavallucci, Khomenko, 2007 – Cavallucci D., Khomenko N. From TRIZ to OTSM-TRIZ: addressing complexity challenges in inventive design // *International Journal of Product Development*. 2007. 4(1-2): 4-21.

Chakravarthi et al., 2018 – Chakravarthi S., Rovin R., Kassam A. Microsurgical clipping of an anterior communicating artery aneurysm using a novel robotic visualization tool in lieu of the binocular operating microscope: operative video // *Operative Neurosurgery*. 2018. 15(3): E28-E28.

Chechurin, Borgianni, 2016 – Chechurin L., Borgianni Y. Understanding TRIZ through the review of top cited publications // *Computers in Industry*. 2016. 82: 119-134.

[Chen, Liu, 2001](#) – *Chen J.L., Liu C.C.* An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis // *The Journal of Sustainable Product Design*. 2001. 1(4): 263-272.

[Chen et al., 2021](#) – *Chen S., Qiu H., Xiao H., He W., Mou J., Siponen M.* Consumption behavior of eco-friendly products and applications of ICT innovation // *Journal of Cleaner Production*. 2021. 287: 125436.

[Christensen et al., 2018](#) – *Christensen C.M., McDonald R., Altman E.J., Palmer J.E.* Disruptive innovation: An intellectual history and directions for future research // *Journal of Management Studies*. 2018. 55(7): 1043-1078.

[Collins et al., 2020](#) – *Collins J.T., Knapper J., Stirling J., Mduda J., Mkindi C., Mayagaya V., Mwakajinga G.A., Nyakyi P.T., Sanga V.L., Carbery D., White L.* Robotic microscopy for everyone: the OpenFlexure Microscope. // *Biomedical Optics Express*. 2020. 11(5): 2447-2460.

[Cong, Tong, 2008](#) – *Cong H., Tong L.H.* Grouping of TRIZ Inventive Principles to facilitate automatic patent classification // *Expert Systems with Applications*. 2008. 34(1): 788-795.

[Coskun et al., 2010a](#) – *Coskun A.F., Su T.W., Ozcan A.* Lensless On-Chip Fluorescent Imaging Over an Ultra Wide Field-of-View // *Proc. ASME*. 2010. 49453: 51-52.

[Coskun et al., 2010b](#) – *Coskun A.F., Sencan I., Su T. W., Ozcan A.* Lensless wide-field fluorescent imaging on a chip using compressive decoding of sparse objects // *Optics express*. 2010. 18(10): 10510-10523.

[Coskun et al., 2011a](#) – *Coskun A.F., Sencan I., Su T.W., Ozcan A.* Wide-field lensless fluorescent microscopy using a tapered fiber-optic faceplate on a chip // *Analyst*. 2011. 136(17): 3512-3518.

[Coskun et al., 2011b](#) – *Coskun A.F., Su T.W., Sencan I., Ozcan A.* Lensless fluorescent microscopy on a chip // *Journal of visualized experiments: JoVE*. 2011. 54.

[Crawford-Young et al., 2018](#) – *Crawford-Young S.J., Dittapongpitch S., Gordon R., Harrington K.I.* Acquisition and reconstruction of 4D surfaces of axolotl embryos with the flipping stage robotic microscope // *Biosystems*. 2018. 173: 214-220.

[Dai et al., 2010](#) – *Dai B., Zhu D., Jaroensri R., Kulalert K., Pianetta P., Pease R.F.W.* Optical and computed evaluation of keyhole diffractive imaging for lensless x-ray microscopy // *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena*. 2010. 28(6): C6Q1-C6Q5.

[Delikoyun et al., 2020](#) – *Delikoyun K., Keçili S., Tekin H.C.* (2020, October). Nanoparticle Detection with Portable and Low-Cost Lensless Holographic Microscopy Platform / *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. 2020. Pp. 1-4. IEEE.

[Dong et al., 2004](#) – *Dong C.Y., Yu B., Kaplan P.D., So P.T.* Performances of high numerical aperture water and oil immersion objective in deep-tissue, multi-photon microscopic imaging of excised human skin // *Microscopy research and technique*. 2004. 63(1): 81-86.

[Donoghue, 1997](#) – *Donoghue M.* Mill's affirmation of the classical wage fund doctrine // *Scottish Journal of Political Economy*. 1997. 44(1): 82-99.

[Evans, 2014](#) – *Evans M.* An alternative approach to estimating the parameters of a generalised Grey Verhulst model: An application to steel intensity of use in the UK // *Expert Systems with Applications*. 2014. 41(4): 1236-1244.

[Ferchaud et al., 2016](#) – *Ferchaud V.A., Qi Y., Chin K.L.* Localization of UV Absorbing Compounds in Nuttall Oak (*Quercus nuttallii*) Leaves Using Naturstoffreagenz-A (NA) and the Leica DMI6000 B Inverted Robotic Microscope // *Microscopy and Microanalysis*. 2016. 22(S3): 1204-1205.

[Franceschi et al., 1987](#) – *Franceschi J., Tiefenbach P., Trinquier J., Jouffrey B.* Robotic electron-microscope for nondestructive monitoring of a flexible production line // *Journal de Microscopie et de Spectroscopie Electroniques*. 1987. 12(3): A20.

[Fresnel et al., 2017](#) – *Fernsler J., Nguyen V., Wallum A., Benz N., Hamlin M., Pilgram J., Vanderpoel H., Lau R.* A LEGO Mindstorms Brewster angle microscope // *American Journal of Physics*. 2017. 85(9): 655-662.

[Gabba et al., 2012](#) – *Gabba S., Dorji T., Grazioli V., Albini A.* Detection of Circulating Tumour Cells on the Basis of Cytomorphology, Immunofluorescence and in Situ Hybridization with

the Aid of a “Robotized Microscope”: from Bench to Bedside // *European Journal of Cancer*. 2012. 48: S28.

[Garcia-Sucerquia, 2012](#) – Garcia-Sucerquia J. Color lensless digital holographic microscopy with micrometer resolution // *Optics letters*. 2012. 37(10): 1724-1726.

[Garcia-Sucerquia, 2012](#) – Garcia-Sucerquia J. (2012, August). White-light light-emitting diode to simplify color digital lensless holographic microscopy / *2012 11th Euro-American Workshop on Information Optics*. Pp. 1-3. IEEE.

[Garcia-Sucerquia, 2015](#) – Garcia-Sucerquia J. Multispectral digital lensless holographic microscopy: from femtosecond laser to white light LED // *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. 605: 012011.

[Garcia-Sucerquia, 2016](#) – Garcia-Sucerquia J. Color digital lensless holographic microscopy: laser versus led illumination // *Applied optics*. 2016. 55(24): 6649-6655.

[Ghazali et al., 2020](#) – Ghazali N., Attardo G., Markose G. Modification of the microscope drape to provide a closed surgical field in transoral robotic surgery // *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2020. 58(7): 867-868.

[Girstmaier et al., 2016](#) – Girstmaier J., Zakrzewski A., Lapraz F., Handberg-Thorsager M., Tomanek P., Pitrone P.G., Simpson F., Telford M.J. Light-sheet microscopy for everyone? Experience of building an OpenSPIM to study flatworm development // *BMC developmental biology*. 2016. 16(1): 1-16.

[Gobble, 2016](#) – Gobble M.M. Defining disruptive innovation // *Research-Technology Management*. 2016. 59(4): 66-71.

[Goldsmith, 1984](#) – Goldsmith R.E. Personality characteristics associated with adaption-innovation // *The Journal of psychology*. 1984. 117(2): 159-165.

[Göring et al., 2017](#) – Göring L., Finkeldey M., Adinda-Ougba A., Gerhardt N.C., Hofmann M. Lensless digital holographic microscope using in-line configuration and laser diode illumination // *Proc. SPIE*. 2017. 10127: 101270V.

[Gradov, 2019](#) – Gradov O.V. Analog Non-Coherent Spectrozonol Lens-less Microscopy of Hydra sp. (Phylum Cnidaria, Class Hydrozoa) with combined Raster Scan and Cross-Band Shifting // *Central European Journal of Zoology*. 2019. 5(1): 24-45.

[Gradov, 2025](#) – Gradov O. Lens-less instrumentation based on triz in the context of innovational economics: Resolution of contradictions between r- and k-strategies / In *TRIZfest-2025 (Abstracts)*. DOI: 10.54985/peeref.2511a8189123

[Granero et al., 2016](#) – Granero L., Ferreira C., Zalevsky Z., García J., Micó V. Single-exposure super-resolved interferometric microscopy by RGB multiplexing in lensless configuration // *Optics and Lasers in Engineering*. 2016. 82: 104-112.

[Guo et al., 2005](#) – Guo Z., Song X., Ye J. A Verhulst model on time series error corrected for port throughput forecasting // *Journal of the Eastern Asia society for Transportation studies*. 2005. 6: 881-891.

[Gurram et al., 2020](#) – Gurram H.P.R., Galande A.S., John R. Nanometric depth phase imaging using low-cost on-chip lensless inline holographic microscopy // *Optical Engineering*. 2020. 59(10): 104105.

[Hammadi, Morin, 2006](#) – Hammadi Z., Morin R. Lensless electron reflection microscopy using a coaxial point-source structure // *Ultramicroscopy*. 2006. 106(6): 480-485.

[Han et al., 1992](#) – Han C., Liu B., Chi X. F., Li W. MTF measurement for testing microscopic objective // *Proc. SPIE*. 1992. 1531: 283-291.

[Hao, 1997](#) – Hao P. Design of Optical System for New CCD Microscopic Objective // *Acta Optica Sinica*. 1997. 17: 828-830.

[Harada et al., 2013](#) – Harada T., Nakasuji M., Nagata Y., Watanabe T., Kinoshita H. Phase imaging of EUV masks using a lensless EUV microscope // *Proc. SPIE*. 2013. 8701: 870119.

[Hassan et al., 2020](#) – Hassan A., Khan S., Rasul K., Hussain A. Lensless on-chip LED array microscope using amplitude and phase masks // *JOSA B*. 2020. 37(12): 3652-3659.

[Heer et al., 2018](#) – Heer R., Krieger S., Geleff S., Schotter J., Wu W., Scholz G., Wasisto H.S. Preparation and integration of a multi-wavelength LED matrix for testing light cell interaction in a novel lens less optical microscope // *MDPI Proc*. 2018. 2(13): 1074.

[Hochberg, Baehr-Jones, 2010](#) – Hochberg M., Baehr-Jones T. (2010). Towards fabless silicon photonics // *Nature photonics*. 2010. 4(8): 492-494.

- Hochberg et al., 2013 – Hochberg M., Harris N.C., Ding, R., Zhang Y., Novack A., Xuan Z., Baehr-Jones T. Silicon photonics: the next fabless semiconductor industry // *IEEE Solid-State Circuits Magazine*. 2013. 5(1): 48-58.
- Hollander, 1984 – Hollander S. J.S. Mill on "Derived Demand" and the Wage-Fund Theory Recantation // *Eastern Economic Journal*. 1984. 10(1): 87-98.
- Hsieh et al., 2014 – Hsieh T.H., Tsai Y.C., Kao C.J., Chang Y.M., Lu Y.W. A conceptual atomic force microscope using LEGO for nanoscience education // *Int. J. Autom. Smart Technol.* 2014. 4: 113-121.
- Hung, Yang, 2003 – Hung S.W., Yang C. The IC fabless industry in Taiwan: current status and future challenges // *Technology in Society*. 2003. 25(3): 385-402.
- Husain, 2004 – Husain A. New synergy in the fabless arena: the Korea-India connection // *Solid State Technology*. 2004. 47(11): S9.
- Hussain et al., 2019 – Hussain A., Li Y., Liu D., Bian Y., Kuang C., Liu X. Axial scanning in lensless microscopy to achieve high resolution // *Applied Physics B*. 2019. 125(3): 43.
- Ilevbare et al., 2013 – Ilevbare I.M., Probert D., Phaal R. A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice // *Technovation*. 2013. 33(2-3): 30-37.
- Imanbekova et al., 2020 – Imanbekova M., Perumal A.S., Kheireddine S., Nicolau D.V., Wachsmann-Hogiu S. Lensless, reflection-based dark-field microscopy (RDFM) on a CMOS chip // *Biomedical Optics Express*. 2020. 11(9): 4942-4959.
- Issa, Eid, 2013 – Issa U.H., Eid M.A. An application of genetic algorithms to time-cost-quality trade-off in construction industry // *Civil and Environmental Research*. 2013. 3(12): 11-19.
- Jacobsen, 2005 – Jacobsen C. Biological x-ray microscopy: from biochemical mapping to lensless imaging // *APS March Meeting Abstracts*. 2005, March. Pp. P2-003.
- Jacoby, 1971 – Jacoby J. Personality and innovation proneness // *Journal of Marketing Research*. 1971. 8(2): 244-247.
- Jiang, Hung, 2015 – Jiang R.S., Hung C.Y. The R&D Strategies of Fabless Semiconductor Companies in Taiwan, China, and the United States: Risk-based perspectives // *Journal of Science and Technology Management (科技管理學刊)*. 2015. 20(2): 1-24.
- Kanka et al., 2011 – Kanka M., Riesenberger R., Petruck P., Graulig C. High resolution (NA=0.8) in lensless in-line holographic microscopy with glass sample carriers // *Optics letters*. 2011. 36(18): 3651-3653.
- Kantelhardt et al., 2013 – Kantelhardt S.R., Finke M., Schweikard A., Giese A. Evaluation of a completely robotized neurosurgical operating microscope // *Neurosurgery*. 2013. 72(suppl_1): A19-A26.
- Khan et al., 2019 – Khan M.U., Xing Y., Ye Y., Bogaerts W. Photonic integrated circuit design in a foundry+ fabless ecosystem // *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 2019. 25(5): 1-14.
- Kim et al., 2007 – Kim J.H., Cha J.J., Jang I.S., Park J.H., Yoon B.J. SoC/IP Development Trends of Korean Fabless // *Electronics and Telecommunications Trends*. 2007. 22(5): 78-85.
- King, Baatartogtokh, 2015 – King A.A., Baatartogtokh B. How useful is the theory of disruptive innovation? // *MIT Sloan Management Review*. 2015. 57(1): 77.
- Kirton, De Ciantis, 1986 – Kirton M.J., De Ciantis S.M. Cognitive style and personality: The Kirton adaption-innovation and Cattell's sixteen personality factor inventories // *Personality and Individual Differences*. 1986. 7(2): 141-146.
- Klinger et al., 2018 – Klinger D.R., Reinard K.A., Ajayi O.O., Delashaw Jr, J.B. Microsurgical clipping of an anterior communicating artery aneurysm using a novel robotic visualization tool in lieu of the binocular operating microscope: operative video // *Operative Neurosurgery*. 2018. 14(1): 26-28.
- Konstantinov et al., 1966 – Konstantinov V., Ostrovskii I., Zaidel A. Laser resolvometry(Interferential method of testing high resolution photographic emulsions, using laser as light source) // *Zhurnal Nauchnoi i Prikladnoi Fotografii i Kinematografii*. 1966. 11: 381. [in Russian]
- Kravchuk et al., 2017 – Kravchuk P.V., Makushin M.V., Styazhkin A.N., Fomina A.V. Development of fabless-industry in China and the value of its experience for domestic design centers // *Voprosy radioelektroniki*. 2017. 1: 90-103.

- [Lan et al., 2015](#) – Lan G., Mauger T.F., Li G. Design of high-performance adaptive objective lens with large optical depth scanning range for ultrabroad near infrared microscopic imaging // *Biomedical optics express*. 2015. 6(9): 3362-3377.
- [LaPedus, 1996](#) – LaPedus M. China focus: Fabless design // *Electronic Buyers' News*. 1996. 1035: 10-10.
- [LaPedus, 1997](#) – LaPedus M. Fabless IC-design house SIS files IPO in Taiwan // *Electronic Buyers' News*. 1997. 1070: 12.
- [Lauer et al., 2002](#) – Lauer W., Esser M., Radermacher K. Development of a compact, semi-robotic platform for an electronic surgical microscope // *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering*. 2002. 47: 6-8.
- [Lauer et al., 2006](#) – Lauer W., Serefoglou S., Ibach B., Perneczky A., Lutze T., Radermacher K. Semi-robotic microscope-platform for endoscopically-assisted neurosurgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 2006. 1: 209-211.
- [Lee et al., 2011](#) – Lee M., Yaglidere O., Ozcan A. Field-portable reflection and transmission microscopy based on lensless holography // *Biomedical Optics Express*. 2011. 2(9): 2721-2730.
- [Li, Maiden, 2018](#) – Li P., Maiden A. Lensless LED matrix ptychographic microscope: problems and solutions // *Applied optics*. 2018. 57(8): 1800-1806.
- [Li et al., 2019](#) – Li Y., Zheng R., Wu Y., Chu K., Xu Q., Sun M., Smith Z.J. A low-cost, automated parasite diagnostic system via a portable, robotic microscope and deep learning // *Journal of biophotonics*. 2019. 12(9): e201800410.
- [Li et al., 2021](#) – Li Z., Zuo C., Chen Q. An auto-focusing reflection-type lens-less digital holographic microscope // *Proc. SPIE*. 2021. 11761: 117611I.
- [Liu, Hua, 2011](#) – Liu S., Hua H. Extended depth-of-field microscopic imaging with a variable focus microscope objective // *Optics express*. 2011. 19(1): 353-362.
- [Liu et al., 2019](#) – Liu D., Li Y., Hussain A., Bian Y., Kuang C., Liu X. Probe separation and noise suppression in lensless microscopy // *Applied Physics B*. 2019. 125(7): 1-7.
- [Liu et al., 2020](#) – Liu Z., Feng J., Wang J. Resource-constrained innovation method for sustainability: application of morphological analysis and TRIZ inventive principles // *Sustainability*. 2020. 12(3): 917.
- [Lu et al., 2004](#) – Lu L.Y., Hung S. W., Yang C. Successful factors of the fabless IC industry in Taiwan // *International journal of manufacturing technology and management*. 2004. 6(1-2): 98-111.
- [Lu et al., 2010](#) – Lu W.M., Wang, W.K., Tung, W.T., Lin F. Capability and efficiency of intellectual capital: The case of fabless companies in Taiwan // *Expert Systems with Applications*. 2010. 37(1): 546-555.
- [Mandel, 2008](#) – Mandel M.J. Innovation Economics Shows How Smart Ideas Turn Into Jobs and Growth // *Business Week*. 2008. September 22. Pp. 52-70.
- [Mao et al., 1997](#) – Miao Z., Liu S., Xuan Z., Zhao Q., Liu R. Color television microscope with an automatic stage // *Zhongguo yi Liao qi xie za zhi = Chinese Journal of Medical Instrumentation*. 1997. 21(5): 276-278. [Chinese]
- [Markides, 2006](#) – Markides C. Disruptive innovation: In need of better theory // *Journal of product innovation management*. 2006. 23(1): 19-25.
- [Marx, 2016](#) – Marx V. Microscopy: OpenSPIM 2.0 // *Nature methods*. 2016. 13(12): 979-982.
- [Melvin et al., 2007](#) – Melvin N.R., Poda D., Sutherland R.J. A simple and efficient alternative to implementing systematic random sampling in stereological designs without a motorized microscope stage // *Journal of microscopy*. 2007. 228(1): 103-106.
- [Mendoza-Yero et al., 2013](#) – Mendoza-Yero O., Calabuig A., Tajahuerce E., Lancis J., Andrés P., Garcia-Sucerquia J. (2013). Femtosecond digital lensless holographic microscopy to image biological samples // *Optics letters*. 2013. 38(17): 3205-3207.
- [Mendoza-Yero et al., 2016](#) – Mendoza-Yero O., Carbonell-Leal M., Lancis J., Garcia-Sucerquia J. Second-harmonic illumination to enhance multispectral digital lensless holographic microscopy // *Optics letters*. 2016. 41(5): 1062-1065.
- [Micó, Zalevsky, 2010](#) – Micó V., Zalevsky Z. Superresolved digital in-line holographic microscopy for high-resolution lensless biological imaging // *Journal of biomedical optics*. 2010. 15(4): 046027.

- Mochi et al., 2017 – Mochi I., Helfenstein P., Mohacsi I., Rajendran R., Kazazis D., Yoshitake S., Ekinci Y. RESCAN: an actinic lensless microscope for defect inspection of EUV reticles // *Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS*. 2017. 16(4): 041003.
- Moehrle, 2005 – Moehrle M.G. What is TRIZ? From conceptual basics to a framework for research // *Creativity and innovation management*. 2005. 14(1): 3-13.
- Notchenko, Gradov, 2013 – Notchenko A.V., Gradov O.V. A five-axis arm-manipulator laser system & an algorithm for digital processing of output data for recording and morpho-topological identification of cells and tissue structures // *Visualization, Image Processing and Computation in Biomedicine*. 2013. 2. ID: 2013005967.
- Obimah, 2018 – Obimah D. Cost control systems in the construction industry; A critical assessment into the inclusion of 'tracking amortization of advanced payment' as an indicator for project performance in Ireland and the United Kingdom (Doctoral dissertation, Dublin Business School). 2018.
- Oh et al., 2010 – Oh C., Isikman S. O., Khademhosseini B., Ozcan A. On-chip differential interference contrast microscopy using lensless digital holography // *Optics Express*. 2010. 18(5): 4717-4726.
- Ong et al., 2019 – Ong L.L.S., Zhu H., Banik D., Guan Z., Feng Y., Reinherz E.L., Lang M.J., Asada H.H. A Robotic Microscope System to Examine T Cell Receptor Acuity Against Tumor Neoantigens: A New Tool for Cancer Immunotherapy Research // *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2019. 4(2): 1760-1767.
- Oppenlander et al., 2014 – Oppenlander M.E., Chowdhry S.A., Merkl B., Hattendorf G.M., Nakaji P., Spetzler R.F. Robotic aut positioning of the operating microscope // *Operative Neurosurgery*. 2014. 10(2): 214-219.
- Paap, Katz, 2004 – Paap J., Katz R. Anticipating disruptive innovation // *Research-Technology Management*. 2004. 47(5): 13-22.
- Pitrone et al., 2013 – Pitrone P.G., Schindelin J., Stuyvenberg L., Preibisch S., Weber M., Eliceiri K.W., Huiskens J., Tomancak P. OpenSPIM: an open-access light-sheet microscopy platform // *Nature Methods*. 2013. 10(7): 598-599.
- Pitrone et al., 2015 – Pitrone P.G., Schindelin J., Eliceiri K.W., Tomancak P. OpenSPIM: A do-it-yourself open access light sheet fluorescence microscope // *Microscopy and Analysis*. 2015. 29(16): 7-11.
- Pudlowski, 2009 – Pudlowski E.M. Managing human resource cost in a declining economic environment // *Benefits Quarterly*. 2009. 25(4): 37.
- Rahim, Baets, 2020 – Rahim A., Baets R.G. Is the silicon photonics ecosystem ready to empower fabless end-users? (Conference Presentation) // *Proc. SPIE*. 2020. 11364: 113640R.
- Raymondson et al., 2009 – Raymondson D.A., Sandberg R.L., Schlotter W.F., Raines K., Chan L.O., Paul A., Sakdinawat A.E., Murnane M.M., Kapteyn H.C., Miao J. Lensless Microscopy and Holography with 60 nm Resolution using Tabletop Coherent Soft X-Rays // *Ultrafast Phenomena*. 2009. XVI: 146-148.
- Repetto et al., 2004 – Repetto L., Piano E., Pontiggia C. Lensless digital holographic microscope with light-emitting diode illumination // *Optics letters*. 2004. 29(10): 1132-1134.
- Repetto et al., 2005 – Repetto L., Chittofrati R., Piano E., Pontiggia C. Infrared lensless holographic microscope with a vidicon camera for inspection of metallic evaporations on silicon wafers // *Optics communications*. 2005. 251(1-3): 44-50.
- Rocha et al., 2019 – Rocha M., Reyser M., Alvarado W., Glauninger H., Hoinville M., Kroll K., MacDonald M., Rouviere E., Schnitkey D., Veseli I., Wasserman S. Construction of an Openspim Light-Sheet Microscope for the Study of Neural Crest Migration in Danio Rerio // *Biophysical Journal*. 2019. 116(3): 425a-426a.
- Rossberger, 2014 – Rossberger R.J. National personality profiles and innovation: The role of cultural practices // *Creativity and Innovation Management*. 2014. 23(3): 331-348.
- Rostykus et al., 2018 – Rostykus M., Rossi M., Moser C. Compact lensless subpixel resolution large field of view microscope // *Optics letters*. 2018. 43(8): 1654-1657.
- Ryle et al., 2010 – Ryle J.P., McDonnell S., Sheridan J.T. Multispectral lensless digital in-line holographic microscope: LED illumination // *Optical Modelling and Design*. 2010. 7717: 77170P.
- Sandberg et al., 2008 – Sandberg R.L., Song C., Wachulak P.W., Raymondson D.A., Paul A., Amirbekian B., Sakdinawat A.E., Lee E., La-O-Vorakiat C., Marconi M.C., Menoni C.S. 70 nm

lensless diffractive microscopy using tabletop soft x-ray sources // *Conference on Lasers and Electro-Optics*. 2008, May. P. CMCC5. Optical Society of America.

[Sasagawa et al., 2018](#) – Sasagawa K., Kimura A., Haruta M., Noda T., Tokuda T., Ohta J. Time-Lapse Observation of Cultured Cells by Lensless Fluorescent Imaging // *ITE Technical Rep.* 2018. 42(30): 21-27.

[Sauer et al., 2017](#) – Sauer D., Jackson J., Durfee D. Progress on developing an MRI analog lensless imaging technique using laser interference patterns // *Bulletin of the American Physical Society*. 2017. 62(17). Abstract: G1.00014.

[Schmidt et al., 2008](#) – Schmidt G.M., Druehl C.T. (2008). When is a disruptive innovation disruptive? // *Journal of product innovation management*. 2008. 25(4): 347-369.

[Scholz et al., 2018](#) – Scholz G., Mariana S., Syamsu I., Dharmawan A.B., Schulze T., Mattern K., Hörmann P., Hartmann J., Dietzel A., Rustenbeck I., Hiller K. Continuous live-cell culture monitoring by compact lensless LED microscopes // *MDPI Proc.* 2018. 2(13): 877.

[Shelton, 2004](#) – Shelton. What's still holding back China's huge fabless potential-Chinese fabless companies have advantages of proximity to end markets and manufacturing prowess that are not being realized. They must // *Solid State Technology*. 2004. 28: S23.

[Shirwaiker, Okudan, 2008](#) – Shirwaiker R.A., Okudan G.E. TRIZ and axiomatic design: a review of case-studies and a proposed synergistic use // *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2008. 19(1): 33-47.

[Si, Chen, 2020](#) – Si S., Chen H. A literature review of disruptive innovation: What it is, how it works and where it goes // *Journal of Engineering and Technology Management*. 2020. 56: 101568.

[Sobieranski et al., 2015](#) – Sobieranski A.C., Inci F., Tekin H.C., Yuksekkaya M., Comunello E., Cobra D., Von Wangenheim A., Demirci U. Portable lensless wide-field microscopy imaging platform based on digital inline holography and multi-frame pixel super-resolution // *Light: Science & Applications*. 2015. 4(10): e346.

[Song et al., 2020](#) – Song P., Wang R., Zhu J., Wang T., Bian Z., Zhang Z., Zheng G. Super-resolved multispectral lensless microscopy via angle-tilted, wavelength-multiplexed ptychographic modulation // *Optics Letters*. 2020. 45(13): 3486-3489.

[Spreafico, Russo, 2016](#) – Spreafico C., Russo D. TRIZ industrial case studies: a critical survey // *Procedia CIRP*. 2016. 39: 51-56.

[Steel et al., 2012](#) – Steel G.D., Rinne T., Fairweather J. Personality, nations, and innovation: Relationships between personality traits and national innovation scores // *Cross-Cultural Research*. 2012. 46(1): 3-30.

[Stock et al., 2016](#) – Stock R.M., von Hippel E., Gillert N.L. Impacts of personality traits on consumer innovation success // *Research Policy*. 2016. 45(4): 757-769.

[Stratton, Mann, 2003](#) – Stratton R., Mann D. Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC // *Journal of materials processing Technology*. 2003. 139(1-3): 120-126.

[Su, Lin, 2008](#) – Su C.T., Lin C.S. A case study on the application of Fuzzy QFD in TRIZ for service quality improvement // *Quality & Quantity*. 2008. 42(5): 563-578.

[Takehara et al., 2014](#) – Takehara H., Sasagawa K., Noda T., Tokuda T., Kim S.H., Iino R., Noji H., Ohta J. A design of lensless fluorescent measurement system for digital ELISA // *ITE Technical Report*. 2014. 38(1): 35-38.

[Tamaki et al., 1998](#) – Tamaki N., Ehara K., Nakamura M., Yamashita H., Tamura S. Neuronavigation Microsurgery for Critical Area Lesions Using Robotic Microscope // *Neurosurgery*. 1998. 43(3): 707.

[Temiz, 2020](#) – Temiz Y. The LEGO microscope: A valuable lab tool began as a DIY project-[Hands on] // *IEEE Spectrum*. 2020. 57(5): 16-18.

[Tobon-Maya et al., 2021](#) – Tobon-Maya H., Zapata-Valencia S., Zora-Guzmán E., Buitrago-Duque C., Garcia-Sucerquia J. Open-source, cost-effective, portable, 3D-printed digital lensless holographic microscope // *Applied Optics*. 2021. 60(4): A205-A214.

[Tonna, Rogers, 1968](#) – Tonna E.A., Rogers E.J. Microscopic photodensitometry and microspectrophotometry using a fixed double-aperture optical system and an electronically controlled automatic scanning microscope stage // *Journal of the Royal Microscopical Society*. 1968. 88(1): 71-84.

- Van Elburg et al., 2007 – Van Elburg H.J., Kuypers L.C., Decraemer W.F., Dirckx J.J.J. Improved correction of axial geometrical distortion in index-mismatched fluorescent confocal microscopic images using high-aperture objective lenses // *Journal of microscopy*. 2007. 228(1): 45-54.
- Veldhuis et al., 2005 – Veldhuis J.H., Brodland G.W., Wiebe C. J., Bootsma G.J. Multiview robotic microscope reveals the in-plane kinematics of amphibian neurulation // *Annals of biomedical engineering*. 2005. 33(6): 821-828.
- Vos et al., 2021 – Vos Bart E., Emil Betz Blesa, Timo Betz Designing a high-resolution, LEGO-based microscope for an educational setting. *bioRxiv*. 2021.
- Wang et al., 2017 – Wang M., Feng S., Wu J. Multilayer pixel super-resolution lensless in-line holographic microscope with random sample movement // *Scientific reports*. 2017. 7(1): 1-8.
- Wang et al., 2019 – Wang M., Feng S., Wu J. Pixel super-resolution lensless in-line holographic microscope with hologram segmentation // *Chinese Optics Letters*. 2019. 17(11): 110901.
- Weibel, 1970 – Weibel E.R. An automatic sampling stage microscope for stereology // *Journal of microscopy*. 1970. 91(1): 1-18.
- Xu et al., 2016 – Xu B., Yu Y., Liu Q., Li Q., Gong P. Research on opto-mechatronic biological microscope design // *Optik*. 2016. 127(2): 937-941.
- Yamashina et al., 2002 – Yamashina H., Ito T., Kawada H. Innovative product development process by integrating QFD and TRIZ // *International Journal of Production Research*. 2002. 40(5): 1031-1050.
- Yang, Chen, 2012 – Yang C.J., Chen J.L. Forecasting the design of eco-products by integrating TRIZ evolution patterns with CBR and Simple LCA methods // *Expert Systems with Applications*. 2012. 39(3): 2884-2892.
- Yang et al., 2018 – Yang C., Ma H., Cao X., Hua X., Bu X., Zhang L., Yue T., Yan F. Resolution-Enhanced Lensless Color Shadow Imaging Microscopy Based on Large Field-of-View Submicron-Pixel Imaging Sensors // *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2018. Pp. 2246-2253.
- Yeh et al., 2011 – Yeh C.H., Huang J.C., Yu C.K. Integration of four-phase QFD and TRIZ in product R&D: a notebook case study // *Research in Engineering Design*. 2011. 22(3): 125-141.
- Yoon, 2009 – Yoon M. Modeling the evolution of firm boundaries and performances of NISs: “history-friendly” models of the fabless ecosystem and the specialization of Korea and Taiwan (Doctoral dissertation, Seoul National University Graduate School). 2009.
- Ze-Jun, 2012 – Ze-Jun L.I. An Automatic Moving Stage with Bar Mechanism in Optical Microscope // *Energy Procedia*. 2012. 17: 561-566.
- Zeng et al., 2020 – Zeng B., Tong M., Ma X. A new-structure grey Verhulst model: development and performance comparison // *Applied Mathematical Modelling*. 2020. 81: 522-537.
- Zuo et al., 2015a – Zuo C., Sun J., Zhang J., Hu Y., Chen Q. Lensless transport-of-intensity phase microscopy and tomography with a color LED matrix // *Proc. SPIE*. 2015. 9524: 95241P.
- Zuo et al., 2015b – Zuo C., Sun J., Zhang J., Hu Y., Chen Q. Lensless phase microscopy and diffraction tomography with multi-angle and multi-wavelength illuminations using a LED matrix // *Optics express*. 2015. 23(11): 14314-14328.

References

- Adinda-Ougba et al., 2015 – Adinda-Ougba, A., Kabir, B., Koukourakis, N., Mitschker, F., Gerhardt, N.C., Hofmann, M.R. (2015). Compact low-cost lensless digital holographic microscope for topographic measurements of microstructures in reflection geometry. *Proc. SPIE*. 9628: 962818.
- Adinda-Ougba et al., 2015 – Adinda-Ougba, A., Koukourakis, N., Gerhardt, N.C., Hofmann, M.R. (2015). Simple concept for a wide-field lensless digital holographic microscope using a laser diode. *Current Directions in Biomedical Engineering*. 1(1): 261-264.
- Åmo, Kolvereid, 2005 – Åmo, B.W., Kolvereid, L. (2005). Organizational strategy, individual personality and innovation behavior. *Journal of Enterprising Culture*. 13(01): 7-19.
- Antoni et al., 2015 – Antoni, S.T., Sonnenburg, C., Saathoff, T., Schlaefer, A. (2015). Feasibility of interactive gesture control of a robotic microscope. *Current Directions in Biomedical Engineering*. 1(1): 164-167.

- Aynampudi, 2012 – Subbarao, Aynampudi, India: A Fab-Less Wonder: Case of SMDP (October 2, 2012). [Electronic resource]. URL: <https://ssrn.com/abstract=2155540> DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2155540>
- Baidun et al., 2003 – Baidun, L.V., Kashpor, S.A., Parpara, A.A., Pliasunova, S.A., Piatnitskiĭ, A.M., Smetanina, N.S., Sokolinskiĭ, B.Z. (2003). Automatic erythrocytometry in a robotized microscope MEKOS-Ts1. *Klinicheskaia laboratornaia diagnostika*. (6): 39-42. [in Russian]
- Bariani et al., 2004 – Bariani, P.F., Berti, G.A., Lucchetta, G. (2004). A combined DFMA and TRIZ approach to the simplification of product structure. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 218(8): 1023-1027.
- Birch et al., 2017 – Birch, G.C., LaCasse IV, C.F., Dagel, A.L., Woo, B.L. (2017). Lensless computational imaging using 3D printed transparent elements. *Proc SPIE*. 10222: 1022208.
- Bishara et al., 2011 – Bishara, W., Sikora, U., Mudanyali, O., Su, T.W., Yaglidere, O., Luckhart, S., Ozcan, A. (2011). Holographic pixel super-resolution in portable lensless on-chip microscopy using a fiber-optic array. *Lab on a Chip*. 11(7): 1276-1279.
- Bonsato et al., 1998 – Bonsanto, M.M., Staubert, A., Samii, A., Wirtz, C.R., Tronnier, V.M., Knauth, M., Sommer, C., Kunze, S. (1998). Robotic guided endoscopy with the MKM microscope- An in-vitro study. *Zentralblatt fur Neurochirurgie*. 59: P24-P24.
- Burgess, 2006 – Burgess, D.S. (2006). Lensless X-ray microscopy images nanocrystals. *Photonics Spectra*. 40(9): 102-102.
- Bykovskii et al., 1969 – Bykovskii, Y.A., Larkin, A.I., Markilov, A.A., Ryabova, R.V., Samoilovich, D.M. (1969). New High-Resolution Photographic Emulsions and Their Investigation by Means of Holographic Resolvometry. *Soviet Physics Doklady*. 14: 246. [Trans. Rus. Ver.: *Doklady Akademii Nauk*. 185(3): 552-554].
- Cascini, Russo, 2007 – Cascini, G., Russo, D. (2007). Computer-aided analysis of patents and search for TRIZ contradictions. *International Journal of Product Development*. 4(1-2): 52-67.
- Cavallucci, Khomenko, 2007 – Cavallucci, D., Khomenko, N. (2007). From TRIZ to OTSM-TRIZ: addressing complexity challenges in inventive design. *International Journal of Product Development*. 4(1-2): 4-21.
- Chakravarthi et al., 2018 – Chakravarthi, S., Rovin, R., Kassam, A. (2018). Microsurgical clipping of an anterior communicating artery aneurysm using a novel robotic visualization tool in lieu of the binocular operating microscope: operative video. *Operative Neurosurgery*. 15(3): E28-E28.
- Chechurin, Borgianni, 2016 – Chechurin, L., Borgianni, Y. (2016). Understanding TRIZ through the review of top cited publications. *Computers in Industry*. 82: 119-134.
- Chen, Liu, 2001 – Chen, J.L., Liu, C.C. (2001). An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis. *The Journal of Sustainable Product Design*. 1(4): 263-272.
- Chen et al., 2021 – Chen, S., Qiu, H., Xiao, H., He, W., Mou, J., Siponen, M. (2021). Consumption behavior of eco-friendly products and applications of ICT innovation. *Journal of Cleaner Production*. 287: 125436.
- Christensen et al., 2018 – Christensen, C.M., McDonald, R., Altman, E.J., Palmer, J.E. (2018). Disruptive innovation: An intellectual history and directions for future research. *Journal of Management Studies*. 55(7): 1043-1078.
- Collins et al., 2020 – Collins, J.T., Knapper, J., Stirling, J., Mduda, J., Mkindi, C., Mayagaya, V., Mwakajinga, G.A., Nyakyi, P.T., Sanga, V.L., Carbery, D., White, L. (2020). Robotic microscopy for everyone: the OpenFlexure Microscope. *Biomedical Optics Express*. 11(5): 2447-2460.
- Cong, Tong, 2008 – Cong, H., Tong, L.H. (2008). Grouping of TRIZ Inventive Principles to facilitate automatic patent classification. *Expert Systems with Applications*. 34(1): 788-795.
- Coskun et al., 2010a – Coskun, A.F., Su, T.W., Ozcan, A. (2010). Lensless On-Chip Fluorescent Imaging Over an Ultra Wide Field-of-View. *Proc. ASME*. 49453: 51-52.
- Coskun et al., 2010b – Coskun, A.F., Sencan, I., Su, T. W., Ozcan, A. (2010). Lensless wide-field fluorescent imaging on a chip using compressive decoding of sparse objects. *Optics express*. 18(10): 10510-10523.
- Coskun et al., 2011a – Coskun, A.F., Sencan, I., Su, T.W., Ozcan, A. (2011). Wide-field lensless fluorescent microscopy using a tapered fiber-optic faceplate on a chip. *Analyst*. 136(17): 3512-3518.

- [Coskun et al., 2011b](#) – Coskun, A.F., Su, T.W., Sencan, I., Ozcan, A. (2011). Lensless fluorescent microscopy on a chip. *Journal of visualized experiments: JoVE*. 54.
- [Crawford-Young et al., 2018](#) – Crawford-Young, S.J., Dittapongpitch, S., Gordon, R., Harrington, K.I. (2018). Acquisition and reconstruction of 4D surfaces of axolotl embryos with the flipping stage robotic microscope. *Biosystems*. 173: 214-220.
- [Dai et al., 2010](#) – Dai, B., Zhu, D., Jaroensri, R., Kulalert, K., Pianetta, P., Pease, R.F.W. (2010). Optical and computed evaluation of keyhole diffractive imaging for lensless x-ray microscopy. *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena*. 28(6): C6Q1-C6Q5.
- [Delikoyun et al., 2020](#) – Delikoyun, K., Keçili, S., Tekin, H.C. (2020, October). Nanoparticle Detection with Portable and Low-Cost Lensless Holographic Microscopy Platform. *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. Pp. 1-4. IEEE.
- [Dong et al., 2004](#) – Dong, C.Y., Yu, B., Kaplan, P.D., So, P.T. (2004). Performances of high numerical aperture water and oil immersion objective in deep-tissue, multi-photon microscopic imaging of excised human skin. *Microscopy research and technique*. 63(1): 81-86.
- [Donoghue, 1997](#) – Donoghue, M. (1997). Mill's affirmation of the classical wage fund doctrine. *Scottish Journal of Political Economy*. 44(1): 82-99.
- [Evans, 2014](#) – Evans, M. (2014). An alternative approach to estimating the parameters of a generalised Grey Verhulst model: An application to steel intensity of use in the UK. *Expert Systems with Applications*. 41(4): 1236-1244.
- [Ferchaud et al., 2016](#) – Ferchaud, V.A., Qi, Y., Chin, K.L. (2016). Localization of UV Absorbing Compounds in Nuttall Oak (*Quercus nuttallii*) Leaves Using Naturstoffreagenz-A (NA) and the Leica DMI6000 B Inverted Robotic Microscope. *Microscopy and Microanalysis*. 22(S3): 1204-1205.
- [Franceschi et al., 1987](#) – Franceschi, J., Tiefenbach, P., Trinquier, J., Jouffrey, B. (1987). Robotic electron-microscope for nondestructive monitoring of a flexible production line. *Journal de Microscopie et de Spectroscopie Electroniques*. 12(3): A20.
- [Fresnel et al., 2017](#) – Fernsler, J., Nguyen, V., Wallum, A., Benz, N., Hamlin, M., Pilgram, J., Vanderpoel, H., Lau, R. (2017). A LEGO Mindstorms Brewster angle microscope. *American Journal of Physics*. 85(9): 655-662.
- [Gabba et al., 2012](#) – Gabba, S., Dorji, T., Grazioli, V., Albini, A. (2012). Detection of Circulating Tumour Cells on the Basis of Cytomorphology, Immunofluorescence and in Situ Hybridization with the Aid of a “Robotized Microscope”: from Bench to Bedside. *European Journal of Cancer*. 48: S28.
- [Garcia-Sucerquia, 2012](#) – Garcia-Sucerquia, J. (2012). Color lensless digital holographic microscopy with micrometer resolution. *Optics letters*. 37(10): 1724-1726.
- [Garcia-Sucerquia, 2012](#) – Garcia-Sucerquia, J. (2012, August). White-light light-emitting diode to simplify color digital lensless holographic microscopy. *2012 11th Euro-American Workshop on Information Optics*. Pp. 1-3. IEEE.
- [Garcia-Sucerquia, 2015](#) – Garcia-Sucerquia, J. (2015). Multispectral digital lensless holographic microscopy: from femtosecond laser to white light LED. *Journal of Physics: Conference Series*. 605: 012011.
- [Garcia-Sucerquia, 2016](#) – Garcia-Sucerquia, J. (2016). Color digital lensless holographic microscopy: laser versus led illumination. *Applied optics*. 55(24): 6649-6655.
- [Ghazali et al., 2020](#) – Ghazali, N., Attardo, G., Markose, G. (2020). Modification of the microscope drape to provide a closed surgical field in transoral robotic surgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 58(7): 867-868.
- [Girstmaier et al., 2016](#) – Girstmaier, J., Zakrzewski, A., Lapraz, F., Handberg-Thorsager, M., Tomancak, P., Pitrone, P.G., Simpson, F., Telford, M.J. (2016). Light-sheet microscopy for everyone? Experience of building an OpenSPIM to study flatworm development. *BMC developmental biology*. 16(1): 1-16.
- [Gobble, 2016](#) – Gobble, M.M. (2016). Defining disruptive innovation. *Research-Technology Management*. 59(4): 66-71.
- [Goldsmith, 1984](#) – Goldsmith, R.E. (1984). Personality characteristics associated with adaption-innovation. *The Journal of psychology*. 117(2): 159-165.

- Göring et al., 2017 – Göring, L., Finkeldey, M., Adinda-Ougba, A., Gerhardt, N.C., Hofmann, M. (2017). Lensless digital holographic microscope using in-line configuration and laser diode illumination. *Proc. SPIE*. 10127: 101270V.
- Gradov, 2019 – Gradov, O.V. (2019). Analog Non-Coherent Spectrozoal Lens-less Microscopy of Hydra sp. (Phylum Cnidaria, Class Hydrozoa) with combined Raster Scan and Cross-Band Shifting. *Central European Journal of Zoology*. 5(1): 24-45.
- Gradov, 2025 – Gradov, O. (2025). Lens-less instrumentation based on triz in the context of innovational economics: Resolution of contradictions between r- and k-strategies. In TRIZfest-2025 (Abstracts). DOI: 10.54985/peeref.2511a8189123
- Granero et al., 2016 – Granero, L., Ferreira, C., Zalevsky, Z., García, J., Micó, V. (2016). Single-exposure super-resolved interferometric microscopy by RGB multiplexing in lensless configuration. *Optics and Lasers in Engineering*. 82: 104-112.
- Guo et al., 2005 – Guo, Z., Song, X., Ye, J. (2005). A Verhulst model on time series error corrected for port throughput forecasting. *Journal of the Eastern Asia society for Transportation studies*. 6: 881-891.
- Gurram et al., 2020 – Gurram, H.P.R., Galande, A.S., John, R. (2020). Nanometric depth phase imaging using low-cost on-chip lensless inline holographic microscopy. *Optical Engineering*. 59(10): 104105.
- Hammadi, Morin, 2006 – Hammadi, Z., Morin, R. (2006). Lensless electron reflection microscopy using a coaxial point-source structure. *Ultramicroscopy*. 106(6): 480-485.
- Han et al., 1992 – Han, C., Liu, B., Chi, X. F., Li, W. (1992). MTF measurement for testing microscopic objective. *Proc. SPIE*. 1531: 283-291.
- Hao, 1997 – Hao, P. (1997). Design of Optical System for New CCD Microscopic Objective. *Acta Optica Sinica*. 17: 828-830.
- Harada et al., 2013 – Harada, T., Nakasuji, M., Nagata, Y., Watanabe, T., Kinoshita, H. (2013). Phase imaging of EUV masks using a lensless EUV microscope. *Proc. SPIE*. 8701: 870119.
- Hassan et al., 2020 – Hassan, A., Khan, S., Rasul, K., Hussain, A. (2020). Lensless on-chip LED array microscope using amplitude and phase masks. *JOSA B*. 37(12): 3652-3659.
- Heer et al., 2018 – Heer, R., Krieger, S., Geleff, S., Schotter, J., Wu, W., Scholz, G., Wasisto, H.S. (2018). Preparation and integration of a multi-wavelength LED matrix for testing light cell interaction in a novel lens less optical microscope. *MDPI Proc*. 2(13): 1074.
- Hochberg, Baehr-Jones, 2010 – Hochberg, M., Baehr-Jones, T. (2010). Towards fabless silicon photonics. *Nature photonics*. 4(8): 492-494.
- Hochberg et al., 2013 – Hochberg, M., Harris, N.C., Ding, R., Zhang, Y., Novack, A., Xuan, Z., Baehr-Jones, T. (2013). Silicon photonics: the next fabless semiconductor industry. *IEEE Solid-State Circuits Magazine*. 5(1): 48-58.
- Hollander, 1984 – Hollander, S. (1984). J.S. Mill on "Derived Demand" and the Wage-Fund Theory Recantation. *Eastern Economic Journal*. 10(1): 87-98.
- Hsieh et al., 2014 – Hsieh, T.H., Tsai, Y.C., Kao, C.J., Chang, Y.M., Lu, Y.W. (2014). A conceptual atomic force microscope using LEGO for nanoscience education. *Int. J. Autom. Smart Technol*. 4: 113-121.
- Hung, Yang, 2003 – Hung, S.W., Yang, C. (2003). The IC fabless industry in Taiwan: current status and future challenges. *Technology in Society*. 25(3): 385-402.
- Husain, 2004 – Husain, A. (2004). New synergy in the fabless arena: the Korea-India connection. *Solid State Technology*. 47(11): S9.
- Hussain et al., 2019 – Hussain, A., Li, Y., Liu, D., Bian, Y., Kuang, C., Liu, X. (2019). Axial scanning in lensless microscopy to achieve high resolution. *Applied Physics B*. 125(3): 43.
- Ilevbare et al., 2013 – Ilevbare, I.M., Probert, D., Phaal, R. (2013). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation*. 33(2-3): 30-37.
- Imanbekova et al., 2020 – Imanbekova, M., Perumal, A.S., Kheireddine, S., Nicolau, D.V., Wachsmann-Hogiu, S. (2020). Lensless, reflection-based dark-field microscopy (RDFM) on a CMOS chip. *Biomedical Optics Express*. 11(9): 4942-4959.
- Issa, Eid, 2013 – Issa, U.H., Eid, M.A. (2013). An application of genetic algorithms to time-cost-quality trade-off in construction industry. *Civil and Environmental Research*. 3(12): 11-19.
- Jacobsen, 2005 – Jacobsen, C. (2005, March). Biological x-ray microscopy: from biochemical mapping to lensless imaging. *APS March Meeting Abstracts*. Pp. P2-003.

- Jacoby, 1971 – Jacoby, J. (1971). Personality and innovation proneness. *Journal of Marketing Research*. 8(2): 244-247.
- Jiang, Hung, 2015 – Jiang, R.S., Hung, C.Y. (2015). The R&D Strategies of Fabless Semiconductor Companies in Taiwan, China, and the United States: Risk-based perspectives. *Journal of Science and Technology Management (科技管理學刊)*. 20(2): 1-24.
- Kanka et al., 2011 – Kanka, M., Riesenbergh, R., Petruck, P., Graulig, C. (2011). High resolution (NA= 0.8) in lensless in-line holographic microscopy with glass sample carriers. *Optics letters*. 36(18): 3651-3653.
- Kantelhardt et al., 2013 – Kantelhardt, S.R., Finke, M., Schweikard, A., Giese, A. (2013). Evaluation of a completely robotized neurosurgical operating microscope. *Neurosurgery*. 72(suppl_1): A19-A26.
- Khan et al., 2019 – Khan, M.U., Xing, Y., Ye, Y., Bogaerts, W. (2019). Photonic integrated circuit design in a foundry+ fabless ecosystem. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 25(5): 1-14.
- Kim et al., 2007 – Kim, J.H., Cha, J.J., Jang, I.S., Park, J.H., Yoon, B.J. (2007). SoC/IP Development Trends of Korean Fabless. *Electronics and Telecommunications Trends*. 22(5): 78-85.
- King, Baatartogtokh, 2015 – King, A.A., Baatartogtokh, B. (2015). How useful is the theory of disruptive innovation? *MIT Sloan Management Review*. 57(1): 77.
- Kirton, De Ciantis, 1986 – Kirton, M.J., De Ciantis, S.M. (1986). Cognitive style and personality: The Kirton adaption-innovation and Cattell's sixteen personality factor inventories. *Personality and Individual Differences*. 7(2): 141-146.
- Klinger et al., 2018 – Klinger, D.R., Reinard, K.A., Ajayi, O.O., Delashaw Jr, J.B. (2018). Microsurgical clipping of an anterior communicating artery aneurysm using a novel robotic visualization tool in lieu of the binocular operating microscope: operative video. *Operative Neurosurgery*. 14(1): 26-28.
- Konstantinov et al., 1966 – Konstantinov, V., Ostrovskii, I., Zaidel, A. (1966). Laser resolvometry(Interferential method of testing high resolution photographic emulsions, using laser as light source). *Zhurnal Nauchnoi i Prikladnoi Fotografii i Kinematografii*. 11: 381. [in Russian]
- Kravchuk et al., 2017 – Kravchuk, P.V., Makushin, M.V., Styazhkin, A.N., Fomina, A.V. (2017). Development of fabless-industry in China and the value of its experience for domestic design centers. *Voprosy radioelektroniki*. 1: 90-103.
- Lan et al., 2015 – Lan, G., Mauger, T.F., Li, G. (2015). Design of high-performance adaptive objective lens with large optical depth scanning range for ultrabroad near infrared microscopic imaging. *Biomedical optics express*. 6(9): 3362-3377.
- LaPedus, 1996 – LaPedus, M. (1996). China focus: Fabless design. *Electronic Buyers' News*. 1035: 10-10.
- LaPedus, 1997 – LaPedus, M. (1997). Fabless IC-design house SIS files IPO in Taiwan. *Electronic Buyers' News*. 1070: 12.
- Lauer et al., 2002 – Lauer, W., Esser, M., Radermacher, K. (2002). Development of a compact, semi-robotic platform for an electronic surgical microscope. *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering*. 47: 6-8.
- Lauer et al., 2006 – Lauer, W., Serefoglou, S., Ibach, B., Perneczky, A., Lutze, T., Radermacher, K. (2006). Semi-robotic microscope-platform for endoscopically-assisted neurosurgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 1: 209-211.
- Lee et al., 2011 – Lee, M., Yaglidere, O., Ozcan, A. (2011). Field-portable reflection and transmission microscopy based on lensless holography. *Biomedical Optics Express*. 2(9): 2721-2730.
- Li, Maiden, 2018 – Li, P., Maiden, A. (2018). Lensless LED matrix ptychographic microscope: problems and solutions. *Applied optics*. 57(8): 1800-1806.
- Li et al., 2019 – Li, Y., Zheng, R., Wu, Y., Chu, K., Xu, Q., Sun, M., Smith, Z.J. (2019). A low-cost, automated parasite diagnostic system via a portable, robotic microscope and deep learning. *Journal of biophotonics*. 12(9): e201800410.
- Li et al., 2021 – Li, Z., Zuo, C., Chen, Q. (2021). An auto-focusing reflection-type lens-less digital holographic microscope. *Proc. SPIE*. 11761: 117611I.
- Liu, Hua, 2011 – Liu, S., Hua, H. (2011). Extended depth-of-field microscopic imaging with a variable focus microscope objective. *Optics express*. 19(1): 353-362.

- [Liu et al., 2019](#) – Liu, D., Li, Y., Hussain, A., Bian, Y., Kuang, C., Liu, X. (2019). Probe separation and noise suppression in lensless microscopy. *Applied Physics B*. 125(7): 1-7.
- [Liu et al., 2020](#) – Liu, Z., Feng, J., Wang, J. (2020). Resource-constrained innovation method for sustainability: application of morphological analysis and TRIZ inventive principles. *Sustainability*. 12(3): 917.
- [Lu et al., 2004](#) – Lu, L.Y., Hung, S. W., Yang, C. (2004). Successful factors of the fabless IC industry in Taiwan. *International journal of manufacturing technology and management*. 6(1-2): 98-111.
- [Lu et al., 2010](#) – Lu, W.M., Wang, W.K., Tung, W.T., Lin, F. (2010). Capability and efficiency of intellectual capital: The case of fabless companies in Taiwan. *Expert Systems with Applications*. 37(1): 546-555.
- [Mandel, 2008](#) – Mandel, M.J. (2008). Innovation Economics Shows How Smart Ideas Turn Into Jobs and Growth. *Business Week*. September 22, 52-70.
- [Mao et al., 1997](#) – Miao, Z., Liu, S., Xuan, Z., Zhao, Q., Liu, R. (1997). Color television microscope with an automatic stage. *Zhongguo yi Liao qi xie za zhi = Chinese Journal of Medical Instrumentation*. 21(5): 276-278. [Chinese]
- [Markides, 2006](#) – Markides, C. (2006). Disruptive innovation: In need of better theory. *Journal of product innovation management*. 23(1): 19-25.
- [Marx, 2016](#) – Marx, V. (2016). Microscopy: OpenSPIM 2.0. *Nature methods*. 13(12): 979-982.
- [Melvin et al., 2007](#) – Melvin, N.R., Poda, D., Sutherland, R.J. (2007). A simple and efficient alternative to implementing systematic random sampling in stereological designs without a motorized microscope stage. *Journal of microscopy*. 228(1): 103-106.
- [Mendoza-Yero et al., 2013](#) – Mendoza-Yero, O., Calabuig, A., Tajahuerce, E., Lancis, J., Andrés, P., Garcia-Sucerquia, J. (2013). Femtosecond digital lensless holographic microscopy to image biological samples. *Optics letters*. 38(17): 3205-3207.
- [Mendoza-Yero et al., 2016](#) – Mendoza-Yero, O., Carbonell-Leal, M., Lancis, J., Garcia-Sucerquia, J. (2016). Second-harmonic illumination to enhance multispectral digital lensless holographic microscopy. *Optics letters*. 41(5): 1062-1065.
- [Micó, Zalevsky, 2010](#) – Micó, V., Zalevsky, Z. (2010). Superresolved digital in-line holographic microscopy for high-resolution lensless biological imaging. *Journal of biomedical optics*. 15(4): 046027.
- [Mochi et al., 2017](#) – Mochi, I., Helfenstein, P., Mohacsi, I., Rajendran, R., Kazazis, D., Yoshitake, S., Ekinici, Y. (2017). RESCAN: an actinic lensless microscope for defect inspection of EUV reticles. *Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS*. 16(4): 041003.
- [Moehrle, 2005](#) – Moehrle, M.G. (2005). What is TRIZ? From conceptual basics to a framework for research. *Creativity and innovation management*. 14(1): 3-13.
- [Notchenko, Gradov, 2013](#) – Notchenko, A.V., Gradov, O.V. (2013). A five-axis arm-manipulator laser system & an algorithm for digital processing of output data for recording and morpho-topological identification of cells and tissue structures. *Visualization, Image Processing and Computation in Biomedicine*. 2. ID: 2013005967.
- [Obimah, 2018](#) – Obimah, D. (2018). Cost control systems in the construction industry; A critical assessment into the inclusion of 'tracking amortization of advanced payment' as an indicator for project performance in Ireland and the United Kingdom (Doctoral dissertation, Dublin Business School).
- [Oh et al., 2010](#) – Oh, C., Isikman, S. O., Khademhosseini, B., Ozcan, A. (2010). On-chip differential interference contrast microscopy using lensless digital holography. *Optics Express*. 18(5): 4717-4726.
- [Ong et al., 2019](#) – Ong, L.L.S., Zhu, H., Banik, D., Guan, Z., Feng, Y., Reinherz, E.L., Lang, M.J., Asada, H.H. (2019). A Robotic Microscope System to Examine T Cell Receptor Acuity Against Tumor Neoantigens: A New Tool for Cancer Immunotherapy Research. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 4(2): 1760-1767.
- [Oppenlander et al., 2014](#) – Oppenlander, M.E., Chowdhry, S.A., Merkl, B., Hattendorf, G.M., Nakaji, P., Spetzler, R.F. (2014). Robotic aut positioning of the operating microscope. *Operative Neurosurgery*. 10(2): 214-219.
- [Paap, Katz, 2004](#) – Paap, J., Katz, R. (2004). Anticipating disruptive innovation. *Research-Technology Management*. 47(5): 13-22.

- [Pitrone et al., 2013](#) – Pitrone, P.G., Schindelin, J., Stuyvenberg, L., Preibisch, S., Weber, M., Eliceiri, K.W., Huysken, J., Tomancak, P. (2013). OpenSPIM: an open-access light-sheet microscopy platform. *Nature Methods*. 10(7): 598-599.
- [Pitrone et al., 2015](#) – Pitrone, P.G., Schindelin, J., Eliceiri, K.W., Tomancak, P. (2015). OpenSPIM: A do-it-yourself open access light sheet fluorescence microscope. *Microscopy and Analysis*. 29(16): 7-11.
- [Pudlowski, 2009](#) – Pudlowski, E.M. (2009). Managing human resource cost in a declining economic environment. *Benefits Quarterly*. 25(4): 37.
- [Rahim, Baets, 2020](#) – Rahim, A., Baets, R.G. (2020). Is the silicon photonics ecosystem ready to empower fabless end-users? (Conference Presentation). *Proc. SPIE*. 11364: 113640R.
- [Raymondson et al., 2009](#) – Raymondson, D.A., Sandberg, R.L., Schlotter, W.F., Raines, K., Chan, L.O., Paul, A., Sakdinawat, A.E., Murnane, M.M., Kapteyn, H.C., Miao, J. (2009). Lensless Microscopy and Holography with 60 nm Resolution using Tabletop Coherent Soft X-Rays. *Ultrafast Phenomena*. XVI: 146-148.
- [Repetto et al., 2004](#) – Repetto, L., Piano, E., Pontiggia, C. (2004). Lensless digital holographic microscope with light-emitting diode illumination. *Optics letters*. 29(10): 1132-1134.
- [Repetto et al., 2005](#) – Repetto, L., Chittofrati, R., Piano, E., Pontiggia, C. (2005). Infrared lensless holographic microscope with a vidicon camera for inspection of metallic evaporations on silicon wafers. *Optics communications*. 251(1-3): 44-50.
- [Rocha et al., 2019](#) – Rocha, M., Reyer, M., Alvarado, W., Glauninger, H., Hoinville, M., Kroll, K., MacDonald, M., Rouviere, E., Schnitkey, D., Veseli, I., Wasserman, S. (2019). Construction of an Openspim Light-Sheet Microscope for the Study of Neural Crest Migration in Danio Rerio. *Biophysical Journal*. 116(3): 425a-426a.
- [Rossberger, 2014](#) – Rossberger, R.J. (2014). National personality profiles and innovation: The role of cultural practices. *Creativity and Innovation Management*. 23(3): 331-348.
- [Rostykus et al., 2018](#) – Rostykus, M., Rossi, M., Moser, C. (2018). Compact lensless subpixel resolution large field of view microscope. *Optics letters*. 43(8): 1654-1657.
- [Ryle et al., 2010](#) – Ryle, J.P., McDonnell, S., Sheridan, J.T. (2010). Multispectral lensless digital in-line holographic microscope: LED illumination. *Optical Modelling and Design*. 7717: 77170P.
- [Sandberg et al., 2008](#) – Sandberg, R.L., Song, C., Wachulak, P.W., Raymondson, D.A., Paul, A., Amirbekian, B., Sakdinawat, A.E., Lee, E., La-O-Vorakiat, C., Marconi, M.C., Menoni, C.S. (2008, May). 70 nm lensless diffractive microscopy using tabletop soft x-ray sources. *Conference on Lasers and Electro-Optics*. P. CMCC5. Optical Society of America.
- [Sasagawa et al., 2018](#) – Sasagawa, K., Kimura, A., Haruta, M., Noda, T., Tokuda, T., Ohta, J. (2018). Time-Lapse Observation of Cultured Cells by Lensless Fluorescent Imaging. *ITE Technical Rep.* 42(30): 21-27.
- [Sauer et al., 2017](#) – Sauer, D., Jackson, J., Durfee, D. (2017). Progress on developing an MRI analog lensless imaging technique using laser interference patterns. *Bulletin of the American Physical Society*. 62(17). Abstract: G1.00014.
- [Schmidt et al., 2008](#) – Schmidt, G.M., Druehl, C.T. (2008). When is a disruptive innovation disruptive? *Journal of product innovation management*. 25(4): 347-369.
- [Scholz et al., 2018](#) – Scholz, G., Mariana, S., Syamsu, I., Dharmawan, A.B., Schulze, T., Mattern, K., Hörmann, P., Hartmann, J., Dietzel, A., Rustenbeck, I., Hiller, K. (2018). Continuous live-cell culture monitoring by compact lensless LED microscopes. *MDPI Proc.* 2(13): 877.
- [Shelton, 2004](#) – Shelton (2004). What's still holding back China's huge fabless potential-Chinese fabless companies have advantages of proximity to end markets and manufacturing prowess that are not being realized. They must. *Solid State Technology*. 28: S23.
- [Shirwaiker, Okudan, 2008](#) – Shirwaiker, R.A., Okudan, G.E. (2008). TRIZ and axiomatic design: a review of case-studies and a proposed synergistic use. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 19(1): 33-47.
- [Si, Chen, 2020](#) – Si, S., Chen, H. (2020). A literature review of disruptive innovation: What it is, how it works and where it goes. *Journal of Engineering and Technology Management*. 56: 101568.
- [Sobieranski et al., 2015](#) – Sobieranski, A.C., Inci, F., Tekin, H.C., Yuksekkaya, M., Comunello, E., Cobra, D., Von Wangenheim, A., Demirci, U. (2015). Portable lensless wide-field

microscopy imaging platform based on digital inline holography and multi-frame pixel super-resolution. *Light: Science & Applications*. 4(10): e346.

[Song et al., 2020](#) – Song, P., Wang, R., Zhu, J., Wang, T., Bian, Z., Zhang, Z., Zheng, G. (2020). Super-resolved multispectral lensless microscopy via angle-tilted, wavelength-multiplexed ptychographic modulation. *Optics Letters*. 45(13): 3486-3489.

[Spreafico, Russo, 2016](#) – Spreafico, C., Russo, D. (2016). TRIZ industrial case studies: a critical survey. *Procedia CIRP*. 39: 51-56.

[Steel et al., 2012](#) – Steel, G.D., Rinne, T., Fairweather, J. (2012). Personality, nations, and innovation: Relationships between personality traits and national innovation scores. *Cross-Cultural Research*. 46(1): 3-30.

[Stock et al., 2016](#) – Stock, R.M., von Hippel, E., Gillert, N.L. (2016). Impacts of personality traits on consumer innovation success. *Research Policy*. 45(4): 757-769.

[Stratton, Mann, 2003](#) – Stratton, R., Mann, D. (2003). Systematic innovation and the underlying principles behind TRIZ and TOC. *Journal of materials processing Technology*. 139(1-3): 120-126.

[Su, Lin, 2008](#) – Su, C.T., Lin, C.S. (2008). A case study on the application of Fuzzy QFD in TRIZ for service quality improvement. *Quality & Quantity*. 42(5): 563-578.

[Takehara et al., 2014](#) – Takehara, H., Sasagawa, K., Noda, T., Tokuda, T., Kim, S.H., Iino, R., Noji, H., Ohta, J. (2014). A design of lensless fluorescent measurement system for digital ELISA. *ITE Technical Report*. 38(1): 35-38.

[Tamaki et al., 1998](#) – Tamaki, N., Ehara, K., Nakamura, M., Yamashita, H., Tamura, S. (1998). Neuronavigation Microsurgery for Critical Area Lesions Using Robotic Microscope. *Neurosurgery*. 43(3): 707.

[Temiz, 2020](#) – Temiz, Y. (2020). The LEGO microscope: A valuable lab tool began as a DIY project-[Hands on]. *IEEE Spectrum*. 57(5): 16-18.

[Tobon-Maya et al., 2021](#) – Tobon-Maya, H., Zapata-Valencia, S., Zora-Guzmán, E., Buitrago-Duque, C., Garcia-Sucerquia, J. (2021). Open-source, cost-effective, portable, 3D-printed digital lensless holographic microscope. *Applied Optics*. 60(4): A205-A214.

[Tonna, Rogers, 1968](#) – Tonna, E.A., Rogers, E.J. (1968). Microscopic photodensitometry and microspectrophotometry using a fixed double-aperture optical system and an electronically controlled automatic scanning microscope stage. *Journal of the Royal Microscopical Society*. 88(1): 71-84.

[Van Elburg et al., 2007](#) – Van Elburg, H.J., Kuypers, L.C., Decraemer, W.F., Dirckx, J.J.J. (2007). Improved correction of axial geometrical distortion in index-mismatched fluorescent confocal microscopic images using high-aperture objective lenses. *Journal of microscopy*. 228(1): 45-54.

[Veldhuis et al., 2005](#) – Veldhuis, J.H., Brodland, G.W., Wiebe, C. J., Bootsma, G.J. (2005). Multiview robotic microscope reveals the in-plane kinematics of amphibian neurulation. *Annals of biomedical engineering*. 33(6): 821-828.

[Vos et al., 2021](#) – Vos, Bart E., Emil Betz Blesa, Timo, Betz (2021). Designing a high-resolution, LEGO-based microscope for an educational setting. *bioRxiv*.

[Wang et al., 2017](#) – Wang, M., Feng, S., Wu, J. (2017). Multilayer pixel super-resolution lensless in-line holographic microscope with random sample movement. *Scientific reports*. 7(1): 1-8.

[Wang et al., 2019](#) – Wang, M., Feng, S., Wu, J. (2019). Pixel super-resolution lensless in-line holographic microscope with hologram segmentation. *Chinese Optics Letters*. 17(11): 110901.

[Weibel, 1970](#) – Weibel, E.R. (1970). An automatic sampling stage microscope for stereology. *Journal of microscopy*. 91(1): 1-18.

[Xu et al., 2016](#) – Xu, B., Yu, Y., Liu, Q., Li, Q., Gong, P. (2016). Research on optomechatronic biological microscope design. *Optik*. 127(2): 937-941.

[Yamashina et al., 2002](#) – Yamashina, H., Ito, T., Kawada, H. (2002). Innovative product development process by integrating QFD and TRIZ. *International Journal of Production Research*. 40(5): 1031-1050.

[Yang, Chen, 2012](#) – Yang, C.J., Chen, J.L. (2012). Forecasting the design of eco-products by integrating TRIZ evolution patterns with CBR and Simple LCA methods. *Expert Systems with Applications*. 39(3): 2884-2892.

[Yang et al., 2018](#) – Yang, C., Ma, H., Cao, X., Hua, X., Bu, X., Zhang, L., Yue, T., Yan, F. (2018). Resolution-Enhanced Lensless Color Shadow Imaging Microscopy Based on Large Field-of-

View Submicron-Pixel Imaging Sensors. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. Pp. 2246-2253.

Yeh et al., 2011 – Yeh, C.H., Huang, J.C., Yu, C.K. (2011). Integration of four-phase QFD and TRIZ in product R&D: a notebook case study. *Research in Engineering Design*. 22(3): 125-141.

Yoon, 2009 – Yoon, M. (2009). Modeling the evolution of firm boundaries and performances of NISs: “history-friendly” models of the fabless ecosystem and the specialization of Korea and Taiwan (Doctoral dissertation, Seoul National University Graduate School).

Ze-Jun, 2012 – Ze-Jun, L.I. (2012). An Automatic Moving Stage with Bar Mechanism in Optical Microscope. *Energy Procedia*. 17: 561-566.

Zeng et al., 2020 – Zeng, B., Tong, M., Ma, X. (2020). A new-structure grey Verhulst model: development and performance comparison. *Applied Mathematical Modelling*. 81: 522-537.

Zuo et al., 2015a – Zuo, C., Sun, J., Zhang, J., Hu, Y., Chen, Q. (2015). Lensless transport-of-intensity phase microscopy and tomography with a color LED matrix. *Proc. SPIE*. 9524: 95241P.

Zuo et al., 2015b – Zuo, C., Sun, J., Zhang, J., Hu, Y., Chen, Q. (2015). Lensless phase microscopy and diffraction tomography with multi-angle and multi-wavelength illuminations using a LED matrix. *Optics express*. 23(11): 14314-14328.

Стратегии ТРИЗ в разработке безлинзовых оптических систем: от инженерии к демографически согласованной социальной экономике

Олег Валерьевич Градов ^{a, *}

^aФедеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова
Российской академии наук, ФИЦ ХФ РАН, Российская Федерация

Аннотация. Переход от азиатского массового производства и экстенсивной экономики к наукоемким, высокоточным технологиям имеет решающее значение в наше время, поскольку производство перемещается обратно из Азии в Европу и США. Этот сдвиг отражает не только изменение географического производства, но и фундаментальную трансформацию характера работы и экономической структуры. В Азии массовое производство в значительной степени зависит от дешевой рабочей силы, выполняющей повторяющиеся задачи. Такой подход позволяет получать высокий результат при меньших затратах, но ему часто не хватает инноваций и эффективности. Напротив, у Европы есть возможность использовать передовые технологии, которые фокусируются на точности, автоматизации и процессах, основанных на знаниях. Принимая эти высокотехнологичные методы, европейские отрасли могут повысить производительность, улучшить качество продукции и снизить воздействие на окружающую среду. Однако проблема заключается в масштабе операций, которые в настоящее время выполняют азиатские производители. Огромная рабочая сила в Азии может справиться с обширными производственными линиями и крупномасштабными задачами, которые потребовали бы значительной части экономически активного населения Европы, если бы были реализованы таким же образом. Учитывая, что население Европы (< 753 000 000) в 6.4 раз меньше, чем во многих азиатских странах (> 4 800 000 000 в 2024 г.), копирование таких методов массового производства было бы непрактичным и неустойчивым. Вместо этого Европа должна использовать свои сильные стороны в исследованиях и разработках, инновациях и квалифицированной рабочей силе для создания более устойчивой экономической модели. Инвестируя в высокотехнологичные решения и способствуя культуре непрерывного совершенствования и обучения, европейские отрасли могут создавать рабочие места, которые не только более полноценны, но и лучше соответствуют будущему работы. В заключение следует сказать, что переход от экстенсивной экономики к экономике, основанной на знаниях, — это не просто вопрос перемещения производства; речь идет о переосмыслении демографической концепции производства и рабочей силы. Отдавая приоритет высокоточным технологиям и

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: o.v.gradov@gmail.com (О.В. Градов)

инновациям, Европа может получить конкурентное преимущество, одновременно обеспечивая более устойчивое и процветающее будущее для своей рабочей силы. Текст рассматривает безлинзовую микроскопию как пример реализации данного подхода, но его можно распространить и на другие приборы, основанные на аналогичных оптических принципах. Это обеспечивает универсальность предлагаемого подхода и его применимость в различных научных и технических областях.

Ключевые слова: ТРИЗ, азиатское массовое производство, экстенсивная экономика, экономическая структура трудовых ресурсов, азиатская демография, европейская демография, безлинзовое приборостроение, безлинзовый имэджинг, реиндустриализация.