

報 告

LEDチップの生産性向上技術開発

前田 将^{*1}，小西茂輝^{*2}

Productivity Improvement Technology Development of LED Chip

Susumu Maeda^{*1}， Shigeki Konishi^{*2}

要 旨

LED照明の市場が急速な拡大を見せており，2009年では，電球全体に占めるLED電球の数量比率は5%以下であったのに対し2011年には40%以上と月間で白熱電球を上回った月もあった。

今後，LED照明の普及は更に進む事が予測され，照明用のLEDチップに求められる性能として特に重要なキーワードは，高効率と低コストである。

LEDの発光効率（ルーメン/ワット）は，現状の蛍光灯と比較しても十分なものとなってきており，大きな課題はコスト（円/ルーメン）である。現状では蛍光灯が0.1円/ルーメン，LEDは，0.5円/ルーメンと蛍光灯に比べると大きな差があり，これを蛍光灯並の価格に下げることがLEDに求められる次の技術課題である。

そこで，豊田合成ではLEDチップの生産性向上を目的とし大口径基板（6インチ）によるLEDチップの生産技術開発を実施し2011年から生産を開始した。

本報告では，その中でも大口径基板の研磨・割断技術についての技術開発とその効果について報告する。

Abstract

The market of the Light Emitting Diodes (LED) and its applications has been rapidly expanded. In 2009, the ratio of the LED lamps to the entire lamps was less than 5%; in 2011 it was more than 40%. In future the spreading of the LED lamps is expected to advance. The LED chips for the general lighting, it is required the low cost and the high efficiency, and we think that these terms are the most important keywords.

The luminous efficiency of the LED lamps (lm/W) become enough compared with a conventional fluorescent lamps, however, the cost per brightness (yen/lm) is the serious issue. The cost per brightness of a fluorescent lamp is 0.1(yen/lm), on the other hand, the LED one is 0.5(yen/lm), so the decreasing the cost of LED is required.

To improve the productivity of LED-chip, TOYODA GOSEI started the large diameter wafer (6inch) manufacturing technology development and has begun production in 2011.

In this paper, we report about the large diameter sapphire substrate grinding-polishing and LED-chip separation technology developments and its efforts.

*1 Susumu Maeda オプトE事業部 生産技術部

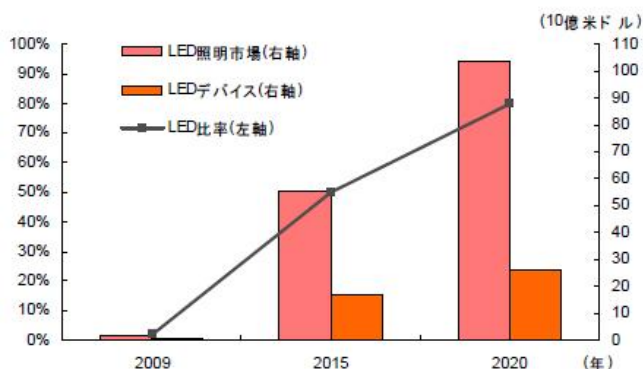
*2 Shigeki Konishi オプトE事業部 生産技術部

1. はじめに

LED照明の価格動向

LED照明の市場が急速な拡大を見せており（図 - 1），2009年では，電球全体に占めるLED電球の数量比率は5%以下であったのに対し2010年には20%，2011年には震災による省エネ意識の向上もあり40%以上と月間で白熱電球を上回った月もあった．その普及拡大に大きく貢献したのは価格の低下である．

2009年前半ではLED電球の平均価格が7,000円以上であったのに対し，白熱電球（60W）では200円台，電球型蛍光灯でも800円台と価格では大きな乖離があった．その後3,000～4,000円台の価格に抑えられたLED電球が発売され急速に販売数量が拡大し，2011年現在では2,000円台にまでなっている．



出所：野村証券金融経済研究所

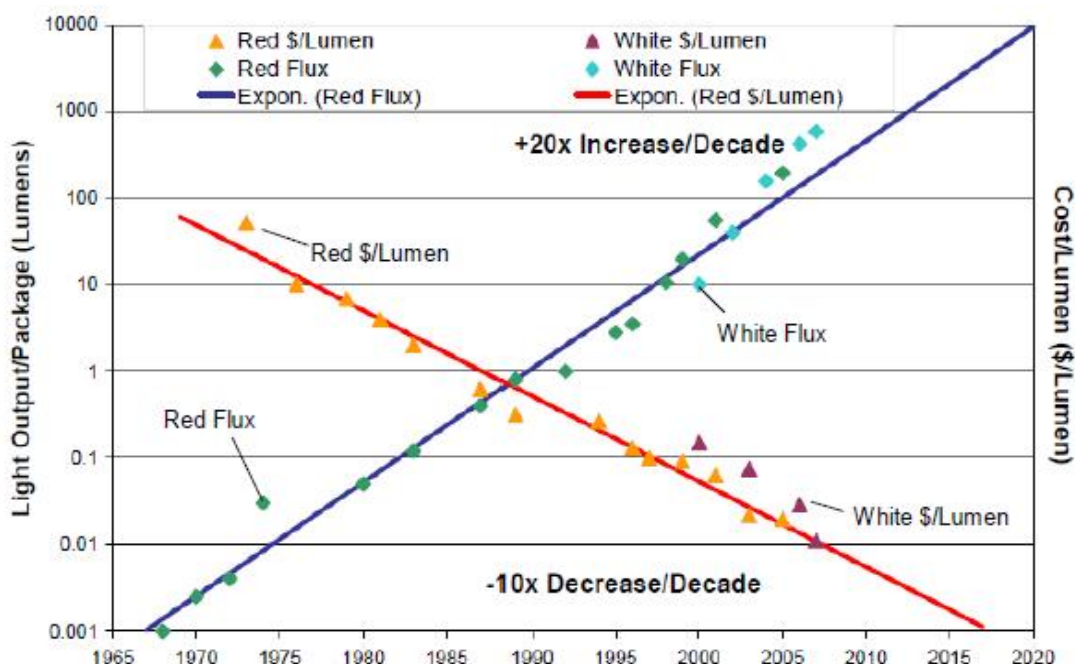
図 - 1 LED照明およびデバイス需要の予測

LEDの発光効率（ルーメン/ワット）は，現状の蛍光灯と比較しても十分なものとなってきており，大きな課題は先にも述べた価格（円/ルーメン）である．現状では蛍光灯が0.1円/ルーメンであるのに対し，LEDでは0.5円/ルーメンと蛍光灯に比べると大きな乖離があり，これを蛍光灯並の価格に下げることがLEDに求められる次の技術課題である．（図 - 2）

半導体生産性向上の歴史

シリコン半導体で代表される生産性向上方策の1つとして基板の大口径化がある．大口径化技術の発展により基板1枚から取り出せるチップ数が増え，生産効率を上げることが可能なためである．1990年台では基板の直径150～200mmのサイズが主流であったが，2002年から300mmがスタートし，2015年に至っては450mmになると予測される．それに伴い，シリコン半導体チップの単価も大幅に減少した．

LEDでは，発光層に使用されている窒化ガリウム（GaN）と結晶構造が類似しているサファイヤ（Al₂O₃）またはシリコンカーバイド（SiC）を基板として製作するが，その中でも特にサファイヤ基板が主流である．

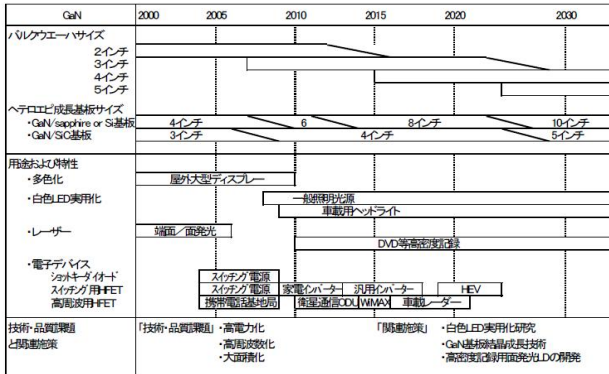


出所：Ronald Heitz, and Lumi LEDs, 米国エネルギー省

図 - 2 LEDパッケージの発光量と発光コストの推移

サファイヤ基板に於いても基板製造メーカの大口径化技術の発展に伴い、LED元年の1995年では2インチ(1インチ 25mm)、2006年では3~4インチが主流であったが近年では6インチ(150mm)化が進んでおり、2013年以降には8インチになると予測されている。(図-3)

しかし、8インチ以上の大口径基板になるとLEDで求められる仕様を満たす為にはまだ多くの技術課題が残されている。



出所：窒化物化合物半導体に係る技術戦略マップ作成に関する調査報告書
図-3 サファイヤ基板の口径推移

サファイヤ基板製造メーカの技術開発により6インチ基板の供給が安定化されたのを受け、LEDチップ製造メーカでも各社6インチ基板の採用が進んでいる。

豊田合成においても、従来の3インチ基板から2011年には佐賀工場にて6インチ基板の本格生産が開始された。

本報告では、大口径化によるLEDチップの生産性の向上技術について報告する。

2. 大口径化による効果

LEDチップの市場価格は、2010年から海外LEDメーカのTV用チップの過剰供給もあり、急激に低下している。

豊田合成の大口径化(6インチ)技術では、基板1枚当たりのチップ取れ数の拡大による生産性が従来比の2.7倍に加え、基板1枚当たりに従事する生産人員数の削減が生産性向上に大きく貢献しており、生産人員数は従来比の約60%減を実現している。

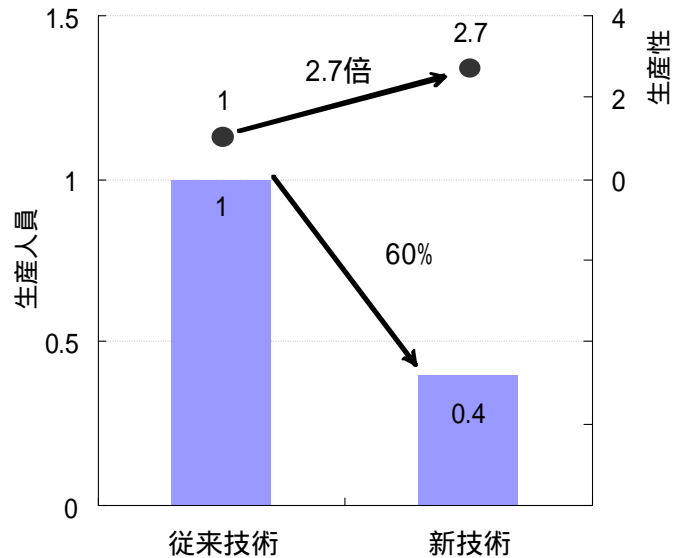


図-4 大口径化による生産性/人員削減の効果

大口径化に向けての課題：LEDチップは、発光層の結晶成長工程、電極形成工程、研磨・切断工程、電気光学特性の検査・配列工程と大きく4工程で製作するが、電極形成工程と検査・配列工程においては、先に述べたシリコン半導体で既に完成された150mm基板の装置技術をベースに工程を作りこんだ。

それ以外の工程では、LED特有の工法や使用材料の違いで大口径化による技術課題が残る。

一つは結晶を作りこむ結晶成長工程である。結晶工程では、電極から電流が均一に流れるよう各結晶層を均一に作成する必要があるが、これが大口径になればなるほど難しくなる。豊田合成では、高温下での基板温度均一化技術の開発により、この課題を解決した。

二つ目の課題は、大口径基板を薄く研磨し、チップに切断する技術。パッケージに搭載するためには、高精度に個片化されたチップが求められる。

今回は、その中でも二つ目の課題である大口径基板の研磨・切断技術について紹介する。

3. 従来の研磨技術

研磨工程では、結晶成長後に電極が形成されたサファイヤ基板を設計値の厚さ(100μm程度)まで薄く仕上げる工程である。

従来工法では、基板をワックスと呼ばれる接着材で保持用の基台に固定するボンディング工程、所定の厚さまで薄く削る為の研削工程、基板

の研削面を鏡面に仕上げるラッピング工程，基板を保持している基台から基板を剥し，洗浄する工程と多くの工程を経ており（図 - 5），リードタイムが長く生産性も悪い．それに加え各工程に人を配置する必要がある為，生産人員数も多くかかる．特に研削・ラッピング工程では，砥石やラッピング定番の管理が難しく，所定の厚さに仕上げる為には，各工程毎での検査・再加工を繰り返す必要があった．

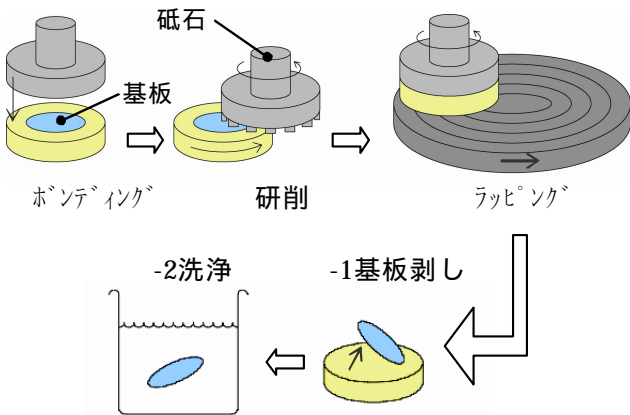
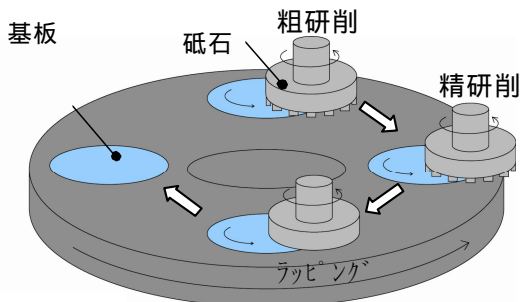


図 - 5 従来研磨工法の概要

4．新研磨工法

生産性の向上と生産人員数削減を目的とし6インチの研磨工程では，自動化工法を採用した．

基板の固定方法を従来のワックスから，紫外線を照射することにより硬化し，基板を剥離できる保持テープに変更し，基板を剥し洗浄する工程を削減．研削工程とラッピング工程を連結（図 - 6.1）させ研削中にリアルタイムで基板厚さが管理可能な仕様にする事で，基板厚さの仕上がり精度を向上，更にはCtoCによる自動化工程を具現できた．（図 - 6.2）



スペース:1/4
人員=1/6

図 - 6.1 新研磨工法の概要

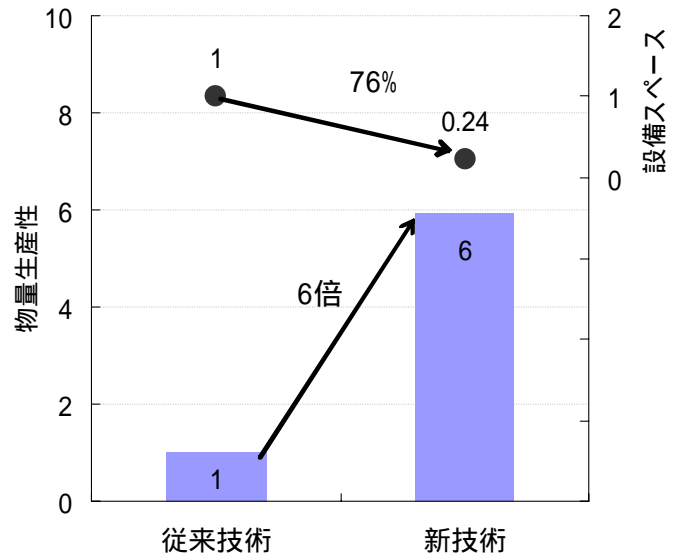


図 - 6.2 新技術の物量生産性と設備スペース

5．従来の切断技術

LEDの切断工程では先述の研磨された基板の切断予定ラインに沿ってレーザーによる改質領域を形成する．（図 - 7）

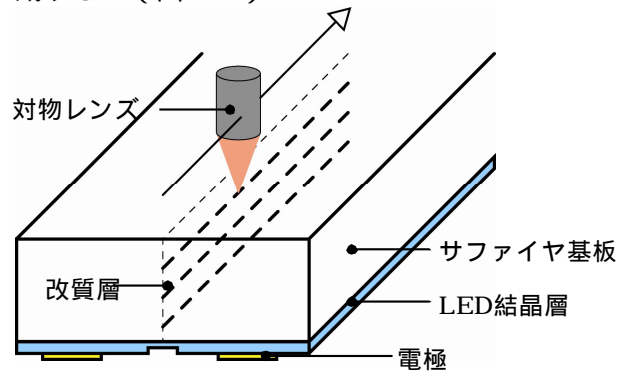


図 - 7 従来の切断工法概要

レーザーによる改質層形成後，切断予定ラインに沿って押し刃により押し割る事で個片化する．（図 - 8）

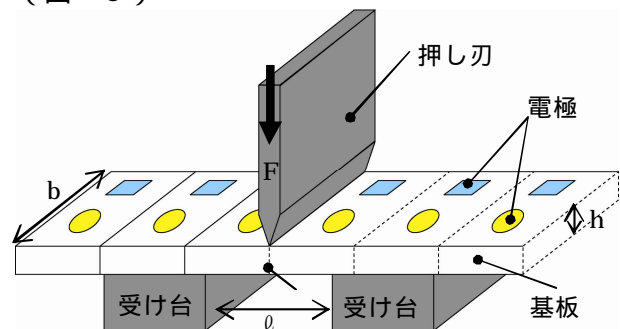


図 - 8 個片化工法の概要

豊田合成のチップ仕様は、サファイヤ厚が他社より厚い為、レーザによる改質層が多く必要でリードタイムが長い事も課題の1つである。

6. 新切断工法

大口径化による課題は、基板の直径が2倍になった為、押し割り時の荷重も2倍必要となり(式-1)、予定外のラインで割れてしまう事と、基板が厚く改質層が短い事により多くの層を加工する必要がある。このためリードタイムが長い。

$$\sigma = \frac{3lF}{2bh^2}$$

応力= (N)
 荷重=F(N)
 基板サイズ=b(m)
 基板厚さ=h(m)
 受け台幅=l(m)

3インチから6インチになる事で基板サイズb 2bとなり、切断できる応力をとすると荷重F 2Fとなる為、切断する為に必要な力が2倍必要となる。

式 - 1 個片化時の応力の式

そこで、改質層を延伸する事で切断荷重を低く且つ、改質層数を減らし、リードタイム短縮による投資抑制を目的として切断技術の開発を進めてきた。

レーザ加工は、発振器から出力されたレーザビームをアッテネータと呼ばれる光学系で出力調整した後、各種光学系を用いビーム形状を形成し反射ミラーで伝播させ集光レンズで集光する事でサファイヤ基板に多光子吸収を起こし基板の切断予定ラインに改質層を形成する。(図-9)

改質層の長さは、レーザの出力を上げる事で延伸する事は可能であるが、レーザによる結晶層へのダメージ、高エネルギーにより切断予定ラインから外れたクラックの発生等も背反効果で発生する。

そこで、改質層の長さは対物レンズによって集光されたレーザビームのエネルギー分布と相関がある事から、レーザビームの形状と対物レンズに着眼しSQC手法による光学系の最適化を実施した。

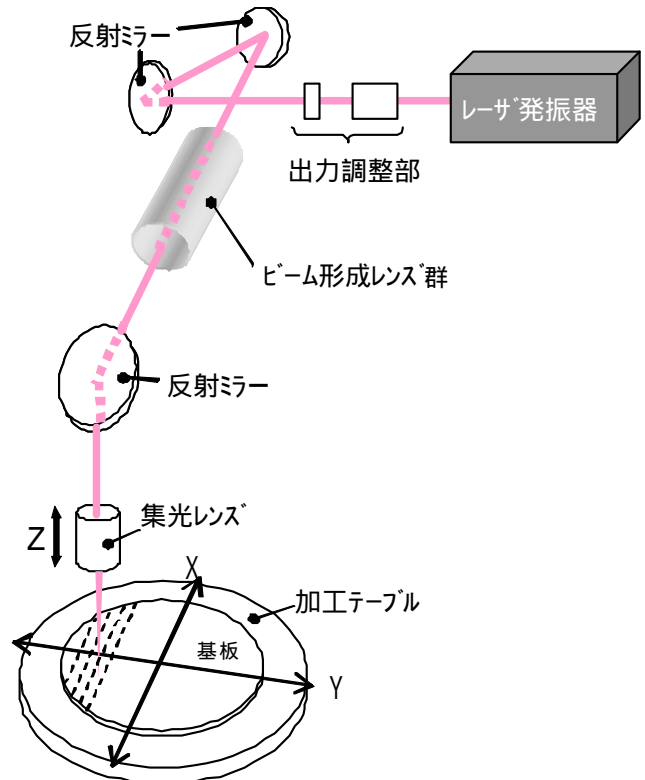


図 - 9 レーザ加工機概要

改質層を延伸する為に、先に述べた各種光学系のパラメータで実験計画法を用いた光学系の最適化を光線追跡シミュレーションにより実施し、改質層の延伸メカニズムを解明した。(図-10)

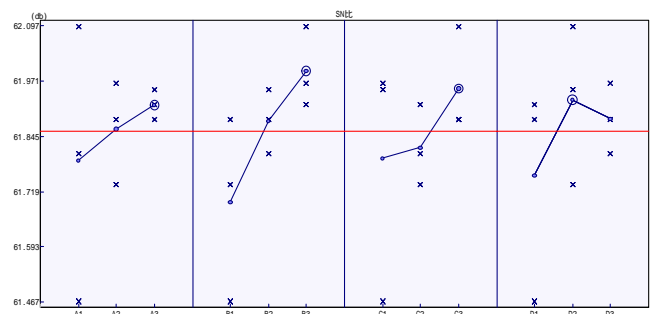


図 - 10 要因効果図

次に、実際の加工機に搭載可能な光学設計を実施し効果を確認した結果、改質層を20%延伸する事ができた。

改質層数に於いては43%削減できリードタイムを33%短縮できた為、生産性も向上し切断工程の投資額を40%削減且つ、省スペースで切断できるようになった。(図-11)

LEDチップの生産性向上技術開発

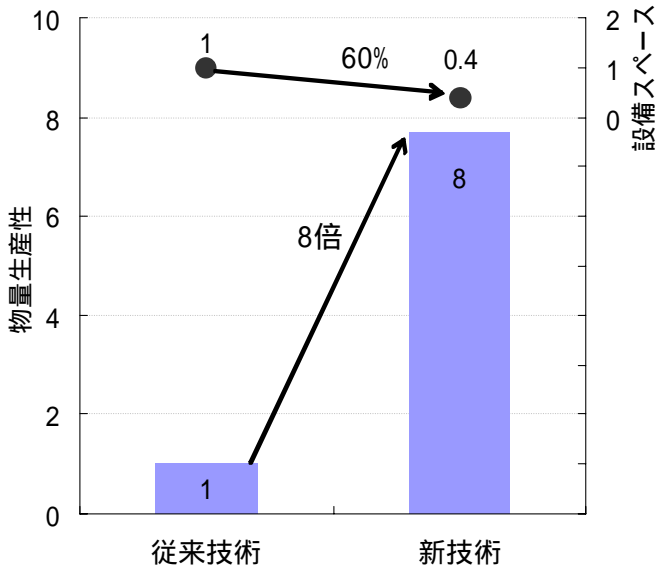


図 - 11 新技術の物量生産性と設備スペース

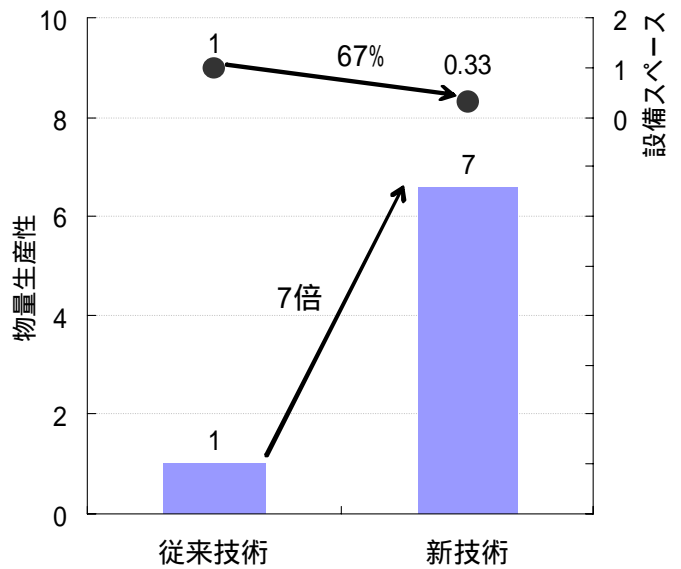


図 - 13 新研磨・割断工法の6インチ化による生産性と設備スペース

7. 研磨・割断工法の開発による効果

新研磨・割断工法によりLEDチップの生産リードタイムが62%減となり設備投資額も40%減、更に人員は85%減とする事が可能となった。(図 - 12)

生産性については、従来技術と比較し7倍となり、設備スペースも67%減になった。(図 - 13)

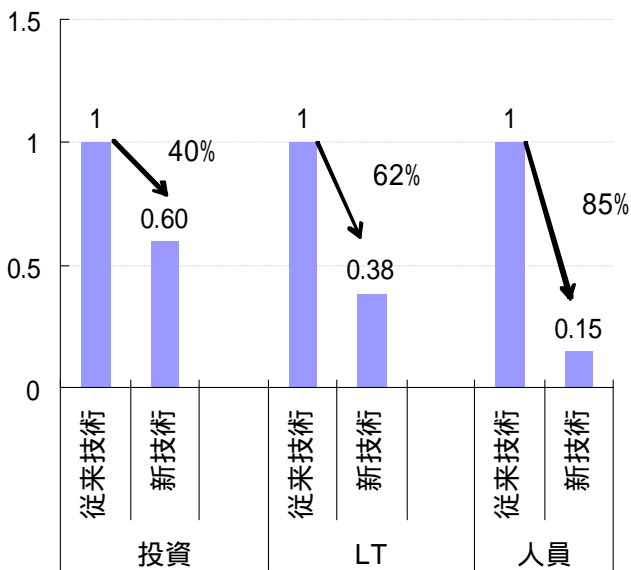


図 - 12 新研磨・割断工法の効果

8. おわりに

本報告では、サファイヤ基板の大口径化(6インチ)によりLEDチップの生産性向上による低コスト化が可能な技術開発について報告したが、今後もLED照明の低コスト化は更に加速される事が予測できる。このため、更なる大口径基板でも高精度に研磨・割断が可能な技術開発を推進していきたい。

【参考文献】

- 1) 林 哲史「LED2011」 巨大市場の見通しから成長支える技術動向まで 日経BP社
- 2) 徳田 達彦「中部産業レポートVol7 LED関係産業」財団法人 中部産業・地域活性化センター
- 3) 横山 恭一郎 テーマ調査：LED照明～LED最後の、そして最大のアプリケーションの登場～ 野村證券 金融経済研究所
- 4) 社団法人 日本機械工業連合会 財団法人 金属系材料研究開発センター「窒化物化合物半導体に係る技術戦略マップ作成に関する調査報告書」