

The industrial trends of GaN substrates on the power electronic semiconductors

Hee Ae Lee*, Jae Hwa Park*,**, Joo Hyung Lee*, Cheol Woo Park*,**, Hyo Sang Kang*,**, Jun Hyeong In* and Kwang Bo Shim*,†

*Division of Advanced Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

**AMES Micron Co. LTD, Gimpo 10124, Korea

(Received June 8, 2018)

(Revised August 1, 2018)

(Accepted August 10, 2018)

Abstract The demand on use of GaN single crystal substrates for high efficient and environment - friendly high power electronic semiconductor has be increased. The industrial business trend on GaN substrate along with its research activities has been reviewed through the recent scientific and technical in formations on the basic of Yole report (2013). The research on the GaN single crystal substrate has been performed continuously for the purpose of the high quality and larger diameter, but its market has not been activated yet.

Key words GaN substrate, Power electronic, Semiconductor, Industrial trend

전력반도체용 GaN 기판 산업동향

이희애*, 박재화*,**, 이주형*, 박철우*,**, 강효상*,**, 인준형*, 심광보*,†

*한양대학교 신소재공학과, 서울, 04763

** (주)에임즈마이크론, 김포, 10124

(2018년 6월 8일 접수)

(2018년 8월 1일 심사완료)

(2018년 8월 10일 게재확정)

요약 최근 전세계적으로 환경오염 및 에너지 고갈에 대한 대책 마련의 일환으로 에너지 재생 및 절약 소자인 고효율·친환경 전력반도체로서 GaN 전력소자에 대한 관심이 고조되어가고 있다. 이를 위해서, GaN 단결정 기판의 사용이 절실히 요구되는 바, Yole사 보고서(2013)와 국내·외 GaN 관련 산학연의 최신 발표(2017)를 바탕으로 최근 GaN 단결정 산업동향을 리뷰하였다. GaN 단결정 기판에 대한 연구개발은 저결함, 대구경을 목표로 지속적으로 진행되고 있으나, 아직 시장형성이 활성화되고 있지 못하다.

1. 서론

현재 우리나라는 물론 전 세계적으로 블랙아웃, 환경오염 등 에너지부족과 환경오염에 대한 두려움이 커지고 있다[1]. 이에 따른 해결방안으로서 에너지 재생 혹은 절약기술을 우선적으로 개발해야 하는데, 이를 위해서는 고효율, 친환경 전력반도체를 개발해야 한다[1, 2]. 전력반도체란 전자기기의 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 핵심부품으로 철도, 휴대전화, 디지털기기, 에어컨,

냉장고 등 전력을 사용하면 발전단계에서 소비될 때까지 전류를 직류로부터 교류로, 교류로부터 직류로 전환하면서 주파수를 변화하고, 또 전압을 낮추거나 높이는 등 전력변환을 거치는데 사용된다[3, 4]. 이러한 과정에서 최대 50% 이상의 전력손실이 발생하고 있는데, 이를 제어할 수 있는 전력반도체를 도입하면 전력변환효율이 약 70% 정도 향상되고, 에너지 소비를 줄여준다[3, 5].

최근 40여년 동안 Si 반도체 기반의 전력반도체를 주로 사용하고 있지만[5], 상대적으로 느린 전자이동속도, 10 nm 이하로 가공하기 힘든 점, 2 GHz 이상의 고주파를 가하면 반도체 성질을 잃어 휴대전화 같은 이동통신 기기에 사용할 수 없는 점 등 물성적인 한계에 부딪히게

†Corresponding author

E-mail: kbshim@hanyang.ac.kr

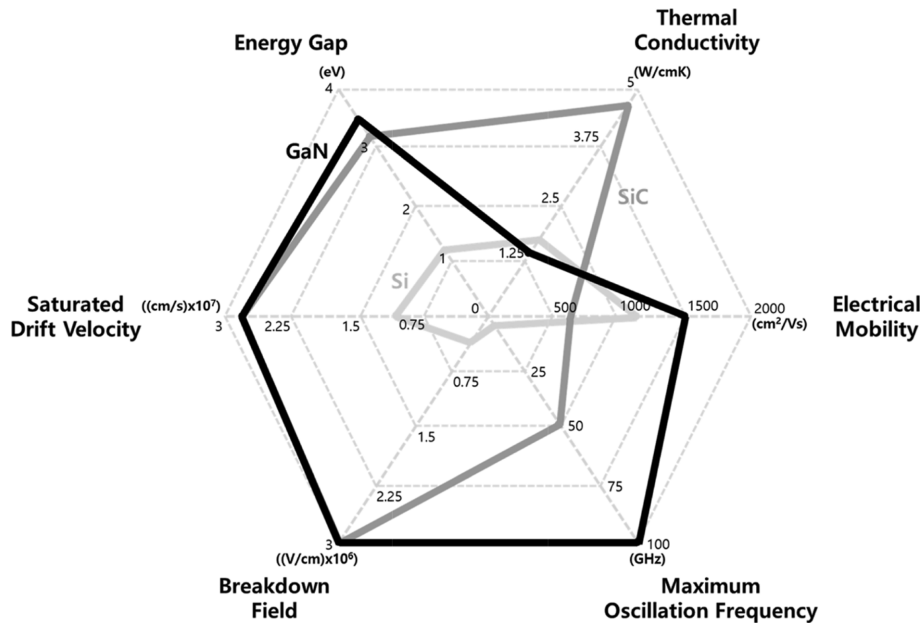


Fig. 1. Comparison of the properties of the power semiconductors [6].

되었다. 따라서, Si 반도체 기반의 전력반도체를 대체할 것으로 기대하고 개발되고 있는 것이 SiC, GaN 등과 같은 우수한 물성을 갖고 있는 wide band gap 반도체이며, 이미 미국, 유럽, 일본의 경우 이러한 화합물 반도체 기반 소자 연구가 활발히 진행 중이다[2].

Fig. 1은 Si, SiC, GaN의 전력반도체 특성을 비교한 것으로 GaN의 경우 Si에 비해 전반적으로 월등한 특성을 보이며, 이는 Si 반도체 기반 전력반도체의 물성적 한계를 극복하여 대체될 수 있음을 의미한다. 또한, 고온 동작, 고전압에서 유사한 특성을 가지는 SiC와 비교하였을 때 방열 특성 부분에서는 SiC의 특성이 우수하지만 고주파, 고전력 특성 면에서는 GaN이 더 우수한 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 GaN은 3.41 eV의 wide band gap을 가지며, 700°C에서도 안정하고, Si보다 10배 이상 높은 항복전압, 높은 전자포화속도를 가지고 있어 고내압·고전류가 가능하며, 스위칭 최소화, 시스템 전력소비 최소화, 전력모듈에 필요한 냉각장치 최소화가 가능해 소형화, 경량화가 가능하게 된다[1].

그러나 이러한 이점에도 불구하고 현재 전력반도체용 기판은 주로 Si, SiC 기판이 사용되고 있는데, 그 이유는 GaN 기판에 비해 가격이 저렴하기 때문이다[7]. 앞서 기술한 GaN 특성을 최대한 발휘하기 위해서는 GaN 소자 제조시 동종 GaN 기판위에 소자 제작이 가능해야 하는데, 대구경 양산이 지체되는 wafer 관련 문제와 wafering 공정이 어려운 점 등의 기술적 한계로 아직 고품질 GaN 기판이 경제성 있게 상용화 되지 못하고 있는 실정이다[8, 9].

GaN 기판의 응용분야는 크게 세 가지로 고효율 LED, laser diode(LD), 그리고 power device가 있다. 고효율

LED로서 건축조명, 신호등, 자동차 백라이트, 휴대폰 등에 사용되고, LD로서 블루레이, 프로젝션, 산업 및 의료용으로, 그리고 power device로서 power supply, 자동차, 냉장고, 디지털기기 등 전력변환이 필요한 모든 부품 및 소자에 응용이 될 수 있다[7, 10].

2. 국외 시장 및 개발 동향

2.1. 국외 시장 동향

GaN 기판의 응용분야에 따른 시장 전망은 Fig. 2과 같이 예상할 수 있다. 이는 대표적인 시장조사 기관인 Yole사의 보고서에서 발췌한 내용으로 GaN 기판 시장은 LD와 LED 기반의 광소자를 중심으로 시장을 형성하고 있으며, 특히 고효율 LED용 시장이 지속적으로 증가하는 추세이다. 2017년부터는 파워전력용 소자에 GaN 기판이 적용되고 고효율 LED용 시장에서 활용도가 급격히 증가되며, 매년 25% 이상의 고성장이 가능할 것으로 예상된다[12].

Yole사 보고서에 따르면 GaN 기판과 관련된 기업들은 Fig. 3에서 표시한 기업들로 실제로 GaN 기판을 판매하고 있는 기업들은 몇몇 기업들뿐이다[10]. 그 중에서도 판매하고 있는 규격에 대한 정보는 대부분 비공개 하고 있고, 몇몇 기업들의 부분적 공개된 정보를 바탕으로 각 나라의 시장현황을 보면, 세계적으로 직경 2인치 GaN 기판의 판매가 주를 이루고 있다. GaN template 경우 중국에서는 Pam-xiamen사와 Nanowin사가 직경 4인치

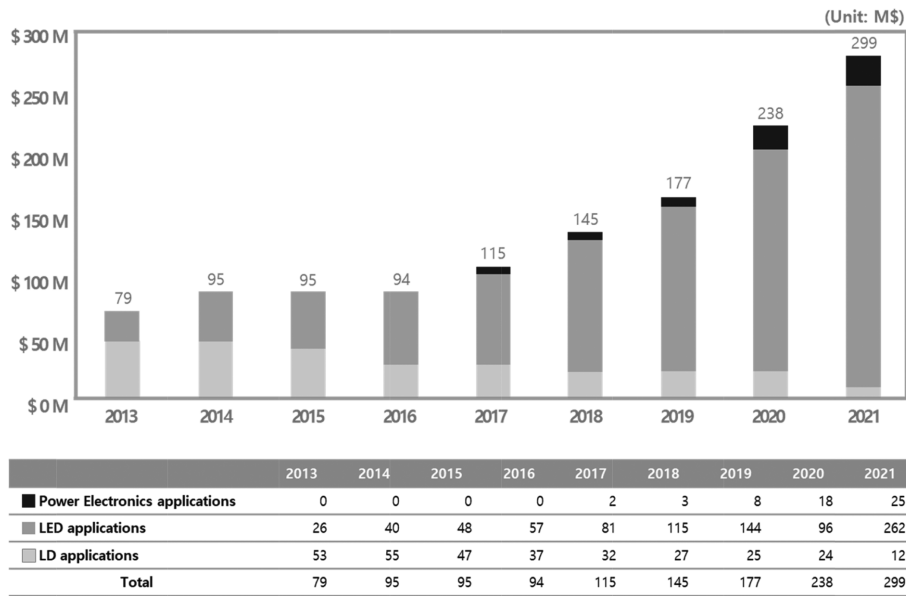


Fig. 2. World market prospect of GaN substrates [11].

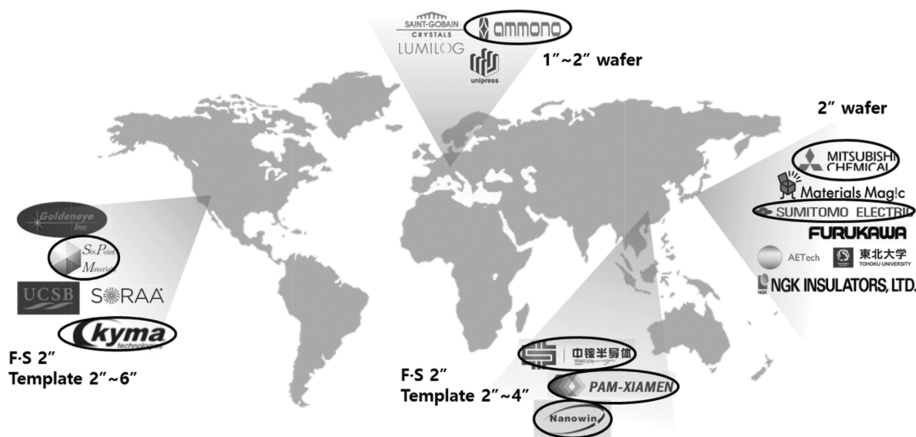


Fig. 3. Company and sales status related to GaN substrate [13].

까지[14, 15], 미국의 Kyma technologies사가 직경 6인치 까지 판매하고 있다[16]. 그러나 그 두께가 0.5~5 μm로, 전위밀도는 10⁸~10⁹ cm⁻² 수준이다[14-16]. 또한 Kyma technologies사는 bulk GaN 기판이라 하여 판매하고 있지만 그 두께가 200~300 μm로 bulk GaN이라 하기 어렵다[17]. 따라서 세계 GaN 기판시장이 직경 2인치를 시작으로 약간 형성되어있지만, 아직 고품위 bulk GaN 시장은 형성되지 않은 것으로 판단된다.

2.2. 국외 개발 동향

국외의 GaN 기판관련 지식재산권의 경우 특허검색 사이트 Kipris를 참고한 결과 Fig. 4에서 나타낸 바와 같이 미국이 약 110건, 유럽이 약 64건, 그리고 일본이 약 377건으로 가장 많은 특허를 보유하고 있고, 2000년

을 기점으로 특허출원이 본격적으로 증가하기 시작하여 (Fig. 5) 2008년에는 연간 약 100건에 근접하다가 2010년 이후로 현저히 감소하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4에서 국가별 동향을 세부적으로 살펴보면, 미국의 경우 설비제작기술에 대한 특허 건이 약 55%로 가장 많았으며, 유럽의 경우 단결정 성장기술이 약 77%를 차지하고 있다. 그리고 일본의 경우 저결함 및 평탄화 기술과 단결정 성장기술이 각각 47%와 40%로 비슷한 특허 건수를 보이고 있다. 이와 같이 국가별로 세부기술에 대한 특허 동향이 상이한 것을 확인할 수 있다[18].

또한, 최근 5년간의 국외의 GaN 기판 관련 연구개발에 대한 동향을 조사해 보면, 먼저 미국의 경우 Kyma technologies사가 2014년에 GaN template를 직경 6인치까지 제작하였으며, 2016년에는 직경 8인치의 GaN template를 개발 중에 있다고 발표하였다[19]. 유럽의 경우 2016

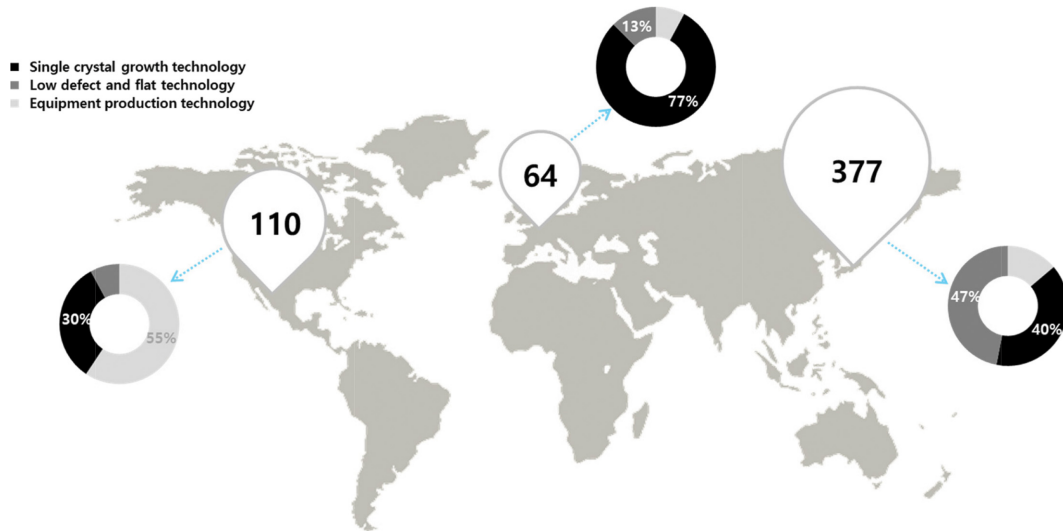


Fig. 4. Current status of intellectual property rights related to overseas GaN substrates [18].

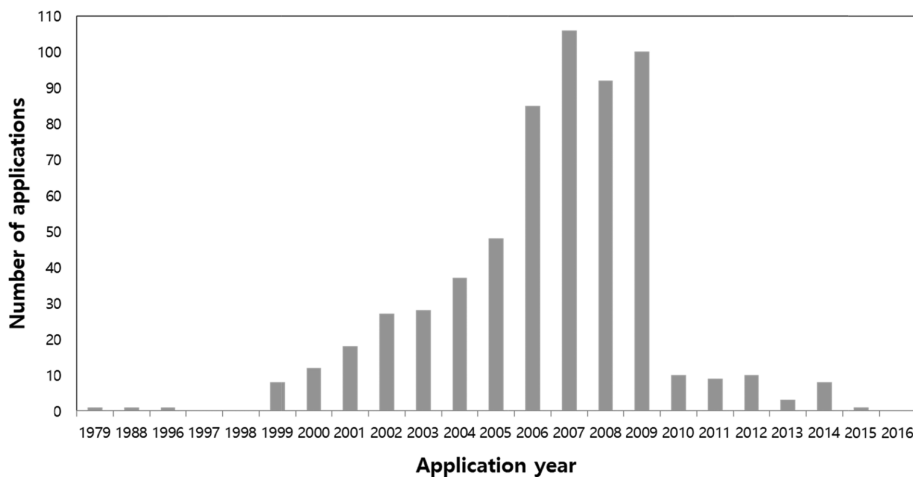


Fig. 5. Overseas patent trends [18].

년에 영국의 턴달 국립 연구소에서 반극성의 직경 4인치 GaN template의 생산공정을 개발하였으며[20], 2017년에는 Seren photonics사가 산업표준 직경 4인치 및 6인치 반극성 GaN template 생산공정 개발을 발표했다[21]. 또한 일본의 연구개발의 경우 특이한 점을 보이고 있는데, 바로 기업간의 기술협약을 체결하여 공동으로 개발하는 추세를 보이고 있는 것이다. Mitsubishi chemical사는 미국의 Cree사와 계약체결을 통해 독립형 GaN 기판을 제조하고 판매할 권리를 부여 받았으며[22], Furukawa사는 Fuji electric사와[23], Sumitomo electric사는 프랑스의 Soitec사와[24], Panasonic사는 독일의 Infineon technologies AG사와[25] 협약을 체결하고 GaN 기판을 공동으로 개발 중에 있다. 이를 통해 일본은 이미 2011년에 초고휘도 LED용 직경 2인치 GaN 기판 제조기술을 확립하였고[26], 2013년에는 직경 4인치 및 6인치 기판을 생산하였다고 발표했다[24]. Bulk GaN 기판의 경

우 Mitsubishi chemical사가 2015년에 두께 10 mm의 직경 2인치 bulk GaN 기판 성장에 성공하였다고 발표하였다[27]. 따라서 국외의 GaN 기판관련 연구개발은 GaN template의 경우 직경 4인치까지 개발이 거의 완료되고 직경 6~8인치로 확장하려는 경향이 보이지만, bulk GaN에 대한 연구는 아직도 직경 2인치 수준의 연구가 진행되고 있다.

3. 국내 시장 및 개발 동향

3.1. 국내 시장 동향

국내의 경우 Fig. 6에서 나타낸 바와 같이 원천기술 확보 한계와 해외 특허 등의 제약으로 인해 약 2조 7천억 원으로 추산되는 국내 전력반도체 시장의 90% 이상

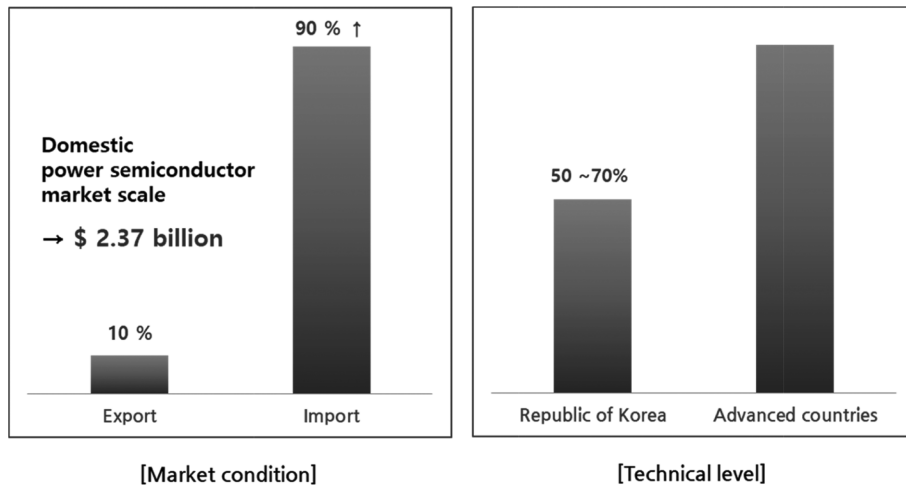


Fig. 6. Domestic market status [3].

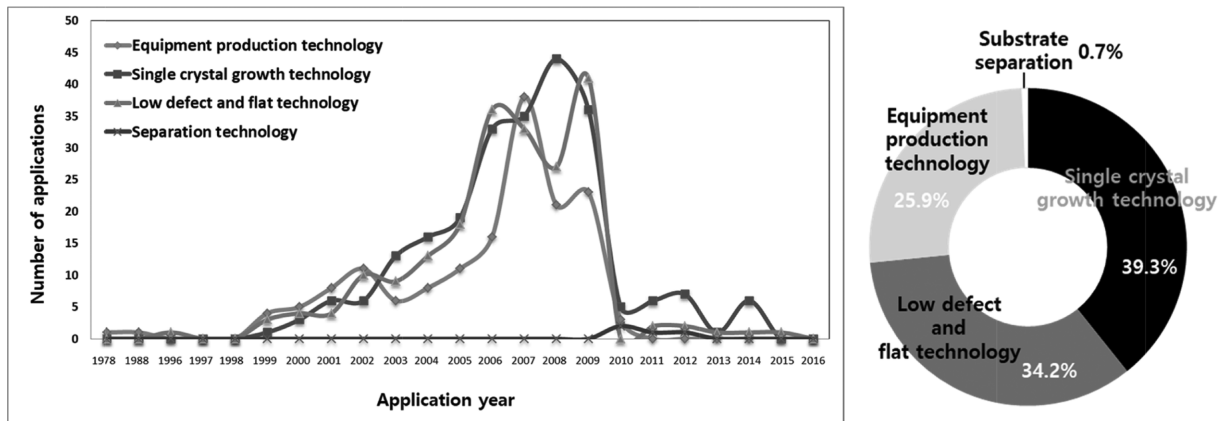


Fig. 7. Domestic patent application trends on detail technology [18].

을 미국, 유럽, 일본 수입에 의존하고 있는 실정이다. 기술수준은 선진국대비 50~70%에 불과할 정도로 진입장벽이 존재하며, 현재 발하기 수준이라 할 수 있다[3]. 국내에서 GaN 기판 제작에 성공하였다고 발표한 기업은 Pan-crystal, Wisepower, Samsung, Lumistal 등이 있지만[28-31], Pan-crystal사와 Wisepower사는 2012년 이후 아무런 소식이 없으며, 삼성의 경우 직경 2인치 GaN 기판 제작에 성공하였지만 2014년에 사업추진을 포기하였다. 그나마 Lumistal사가 GaN 기판을 판매한다고 언급하고 있지만 GaN template는 직경 2~3인치 크기의 10 μm 두께, GaN wafer는 직경 2인치 크기의 약 400 μm 수준에 있다. 이와 같이 국내에서는 GaN 기판 시장이 아직 열리지 않았다고 볼 수 있다.

3.2. 국내 개발 동향

현재 국내에서 GaN 기판과 관련된 지식재산권을 조사한 결과 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 국외와 마찬가지로

2000년에 들어서 특허출원 건수가 활발히 증가하였으나 2010년을 기준으로 감소하는 경향이 나타났다. 이를 세부적으로 검토하면 단결정 성장기술이 39.3%로 가장 많은 특허건수를 차지하고 있으며, 저결함 및 평탄화 기술이 34.2%, 설비제작기술이 25.9%, 마지막으로 기판 분리 기술이 0.7%로 가장 적은 출원건수를 차지하고 있다.

Fig. 8에서 세부기술 동향을 연도 구간별로 보면 초기에 설비제작기술이 약 55%로 가장 많은 비율을 차지하다가 현재 8%로 가장 적은 비율을 가지고 있으며, 반대로 단결정 성장기술은 초기에 9%로 가장 적은 비율을 가지다가 현재 64%로 가장 많은 비율을 차지하고 있다. 이를 통해 국내에서 GaN 기판 제작설비기술은 개선행에 있고 단결정 성장기술 부분으로 관심이 집중되며 최근에는 기판을 분리할 수 있는 기술에 대한 관심이 나타나기 시작하는 것을 확인할 수 있다. 이중 GaN 기판과 관련된 특허건수는 약 42건으로 그 중 Lumistal이 12건, 삼성이 7건, 그리고 한국산업기술대학교와 한양대

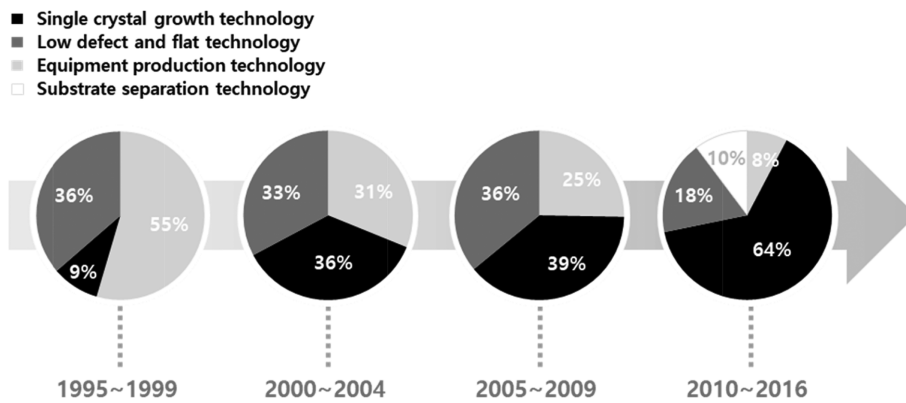


Fig. 8. Domestic patent application trends on detail technology by year [18].

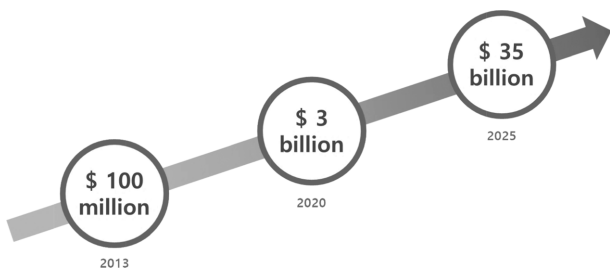


Fig. 9. World market forecasts of GaN substrates [12].

학교가 공동연구를 통한 14건으로 4개의 기관이 GaN 기관과 관련된 특허건을 약 70% 정도 차지하고 있다 [18].

또한 GaN 기관 성장과 관련된 연구를 진행 중인 기관은 2013년을 기준으로 한양대학교, 한국해양대학교, 한국산업기술대학교, 한국세라믹기술원, Lumistal 등이 있으며, 서울대학교, 경북대학교, 홍익대학교, 동국대학교, 한국전자통신연구원, 서울반도체 등이 GaN 기관 응용 연구를 진행 중이다[1]. 또한 전자부품연구원, LG siltron 은 GaN 기관 성장과 응용에 대한 연구를 동시에 진행하고 있는 것으로 알려져 있다.

4. 결 론

세계 GaN 기관시장은 현재 직경 2인치를 시작으로 약간 형성되었으나, 아직 고품위 bulk GaN 시장은 형성되지 않은 것으로 사료된다. 연구개발 또한 GaN template 의 경우 4인치까지 개발이 완료되었으나, bulk GaN에 대한 연구는 아직도 직경 2인치 수준으로 진행되고 있으며, 향후 전개될 시장형성에 대비하여, 단결정 성장 기술 개발에서 저결함 및 평탄화 기술에 대한 개발로 관심이 변화하고 있는 추세이다. 따라서, bulk GaN 기관 개발이 성공적으로 이루어지게 된다면, GaN 기관 시장이

아직 형성되지 않은 국내 시장에서 영향력을 가지게 될 것이다. 또한, 2013년 1억 달러에서 2020년 30억 달러, 2025년 250억 달러로 연평균 60% 이상 급격히 성장할 것으로 예상되는 세계시장에 뛰어 들 수 있을 것이라 예상된다[12].

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부에서 주관하는 소재원천기술 개발사업(과제번호: 10080599)로 수행되었습니다.

References

- [1] J.K. Mun, "GaN power device domestic and international R & D trends and future prospects", *Ceramist* 16 (2013) 53.
- [2] H.M. Woo, J.Y. Ahn, M.J. Lee and J.D. La, "Application of next generation power semiconductor SiC and GaN", *The Proceedings of KIEE* 63 (2014) 24.
- [3] M. Cho, "Technology trend of next generation power device SiC/GaN" (KISTI, Daejeon, 2012) p. 1.
- [4] H.S. Chun and I.S. Yang, "Market and technology development trends of power IC", *Electronics and Telecommunications Trends* 28 (2013) 206.
- [5] M. Cho and Y.D. Koo, "Commercialization and research trends of next generation power devices SiC/GaN", *J. of Energy Engineering* 22(1) (2013) 58.
- [6] Tech Web, "What is silicon carbide?", <http://micro.rohm.com/en/techweb/knowledge/sic/s-sic/02-s-sic/3669/> (accessed June 4, 2017).
- [7] J.B. Kim, "The issues and the technology trends of LED", *Electronics and Telecommunications Trends* 24 (2009) 61.
- [8] B.J. Yoon, "GaN, Challenge to supremacy of the next generation power semiconductor", *Electronic Science, Special Feature* (2012) 60.
- [9] J.H. Park, H.A. Lee, J.H. Lee, C.W. Park, J.H. Lee, H.S. Kang, H.M. Kim, S.H. Kang, S.Y. Bang, S.K. Lee and

- K.B. Shim, "Crystal characteristics of bulk GaN single crystal grown by HVPE method with the increase of thickness", *J. Ceram. Proc. Res.* 18 (2017) 93.
- [10] Yole developpement, "Bulk & Free-Standing GaN", 2013 ed. (Yole developpement, Villeurbanne, 2013) p. 29.
- [11] K.I. Kim, "GaN wafer", KISTI MARKET REPORT 5 (2015) 7.
- [12] S.J. Kang, J.S. Moon, C.W. Kwak, J.I. Kim, H.D. Cho, J.W. Park, J.S. Jung, M.S. Jeon, S.M. Kim, B.Y. Jung, N.K. Kim, W. Bang, H.W. Kim, W.S. Seo, H.S. Shin, M.H. Lee, S.M. Lee, J.H. Jang, W.S. Cho, H.J. Kim, H.J. Kwon, Y.J. Park, B.G. Kwon and S.U. Shim, "A white paper on ceramic Technology in 2016" (KICET, Jinju, 2016) p. 130.
- [13] Yole developpement, "Bulk & Free-Standing GaN", 2013 ed. (Yole developpement, Villeurbanne, 2013) p. 15.
- [14] Pam-xiamen, "GaN (gallium nitride) Templates", <http://www.powerwaywafer.com/GaN-Templates.html> (accessed June 12, 2017).
- [15] Nanowin, "GaN Templates 2 & 4 inch", http://shop.nanowin.com.cn/product_center.php (accessed June 12, 2017).
- [16] Kyma technologies, "Gallium Nitride (GaN) Templates", <http://www.kymatech.com/products/substrates-templates/36-templates/497-gan-templates> (accessed June 12, 2017).
- [17] Kyma technologies, "C-Plane Bulk GaN substrates, 2" (Ga-face) GaN Specification Sheet", <http://www.kymatech.com/products/substrates-templates/35-bulk-materials/490-bulk-gan-c-plane-substrates> (accessed June 12, 2017).
- [18] Kipris, "Search", http://kportal.kipris.or.kr/kportal/search/total_search.do (accessed May 8, 2017).
- [19] Kyma technologies, "Kyma Technologies and Quora Technology Announce Partnership on Advanced GaN Substrate Materials", 2016, <http://www.kymatech.com/news/269-kyma-technologies-and-quora-technology-announce-partnership-on-advanced-gan-substrate-materials> (accessed June 12, 2017).
- [20] SPIE, "Scalable semipolar gallium nitride templates for high-speed LEDs", 2016, <http://spie.org/newsroom/6482-scalable-semipolar-gallium-nitride-templates-for-high-speed-leds?SSO=1> (accessed June 3, 2017).
- [21] LEDinside, "Collaboration between Seren Photonics and Bluglass Leads to Successful Semipolar GaN Template Process Transfer", 2017, https://www.ledinside.com/press/2017/6/collaboration_between_seren_photonics_and_bluglass_leads_to_successful_semipolar_gan_template_p (accessed August 7, 2017).
- [22] Cree, "Cree Licenses GaN Substrate Technology to Mitsubishi Chemical Corporation", 2009, <http://www.cree.com/news-media/news/article/cree-licenses-gan-substrate-technology-to-mitsubishi-chemical-corporation> (accessed August 17, 2017).
- [23] Fuji Electric, "Fuji Electric and Furukawa Electric to Set Up a Technology Research Association for Next Generation Power Device", 2009, <https://www.fujielectric.com/company/news/2009/09062201.html> (accessed June 16, 2017).
- [24] CISION PR Newswire, "Soitec and Sumitomo Electric Sign Smart Cut™ Licensing Agreement", 2013, <https://www.prnewswire.com/news-releases/soitec-and-sumitomo-electric-sign-smart-cut-licensing-agreement-192313131.html> (accessed Jun 21, 2017).
- [25] Infineon, "Infineon and Panasonic Will Establish Dual Sourcing for Normally-Off 600V GaN Power Devices", 2015, <https://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/press/market-news/2015/INFPMM201503-041.html> (accessed June 16, 2017).
- [26] NGK INSULATORS, LTD., "NGK Developed GaN Wafer for Ultra High Brightness LEDs", 2012, <http://www.ngk.co.jp/english/news/2012/0425.html> (accessed June 17, 2017).
- [27] Y. Mikawa, T. Ishinabe, S. Kawabata, T. Mochizuki, A. Kojima, Y. Kagamitani and H. Fujisawa, "Gallium Nitride Materials and Devices X", J.I. Chyi, Vol. 9363 (SPIE, Washington, 2015) p. 936302-1.
- [28] The Korea Economic Daily, "Pan-Crystal, Non-polar Gallium Nitride Substrate Production", 2012, <http://news.hankyung.com/article/2012112981616?nv=o> (accessed August 29, 2017).
- [29] Newspim, "Wisepower, Development of high efficiency gallium nitride wafer", 2009, <http://www.newspim.com/news/view/20090731000389> (accessed August 31, 2017).
- [30] Semiconductor-today, "Growing high-quality free-standing GaN-on-silicon substrates", 2013, http://www.semiconductor-today.com/news_items/2013/DEC/SAMSUNG_091213.shtml (accessed December 18, 2018).
- [31] Lumistal, "2inch GaN Wafer", <http://www.lumistal.com/> (accessed June 26, 2017).