

LED용 precursor 재이용을 위한 회수 및 정제 공정 개발

양재열*** · 오병성** · *윤재식*

*한국기초과학지원연구원, **충남대학교

Development of Reuse Process Through Recovery and Refinement of Precursor for LED

Jae Yeol Yang***, Byung Sung O** and *Jae Sik Yoon*

*Korea Basic Science Institute

**Chung-Nam National University

요 약

본 연구에서는 metal organic chemical vapor deposition(유기금속화학증기증착, MOCVD) 장치로부터 LED용 GaN epi 성장 시 원료로 사용되는 트리메틸갈륨에 대해서 사용 후 잔량을 회수하고 정제하여 재이용할 수 있는 공정 및 시스템을 개발하고자 한다. 본 공정에서 회수된 트리메틸갈륨에 대해서 화학적, 구조적 특성 평가를 통해서 재이용 가능여부를 검토하였다. 먼저 ICP-MS, ICP-AES를 이용하여 순도를 분석한 결과 7N(99.99999%)의 고순도 트리메틸갈륨임을 확인했으며, NMR 분석을 통해서 트리메틸갈륨의 구조적 변화를 확인한 결과, 구조 변화 없이 순수 (CH₃)₃Ga(트리메틸갈륨) 구조임을 확인하였다. 또한 회수 트리메틸갈륨에 대한 신뢰성 검토를 위해서 MOCVD 공정을 이용하여 u-GaN를 증착시키고, 결정 특성 평가 및 광학·전기적 특성 평가를 실시하였으며 그 결과, 재이용이 가능함을 알 수 있었다.

주제어 : 전구체, 트리메틸갈륨, 재이용, 유기금속화학증기증착장치, 발광다이오드

Abstract

The purpose of this research is to develop a process and a system to collect, purify and reuse the residual quantity of trimethylgallium, used as a raw material, upon GaN epitaxial growth for LED from a metal organic chemical vapor deposition(MOCVD) equipment. This research reviews whether TMGa collected from the process can be used through a chemical and structural characteristics evaluation. As a result of analyzing the purity using ICP-MS and ICP-AES, 7N high purity (99.99999%) of TMGa was obtained. According to checking the structural change of TMGa through NMR analysis, TMGa having pure (CH₃)₃Ga structure was obtained without structural change. For reliability review of the collected TMGa, u-GaN was deposited using the MOCVD process and an structural, optical and electrical characteristics evaluation was conducted. As a result, it was found out that the reuse was possible.

Key words : Precursor, TMGa, Reuse, MOCVD, LED

* Received : September 25, 2013 · Revised : November 22, 2013 · Accepted : January 3, 2014

*Corresponding Author : Jae Sik Yoon (E-mail : jaesiky@kbsi.re.kr)

Department of Materials Science, Korea Basic Science Institute, 169-148, Gwahangno, Yuseong-gu, Daejeon, 305-806 South Korea
Tel : +82-42-865-3635 / Fax : +82-42-865-3499

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

트리메틸갈륨($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$, TMGa)은 1933년도에 처음 논문으로 발표되었으며,^{1,2)} 그 후 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ 을 만드는 수많은 방법들이 논문으로 출간되었다.²⁻⁴⁾ 그 방법 중 주로 사용하는 방법은 삼중염화 갈륨과 이중메틸 아연을 반응시키는 방법이며, 참고문헌에 자세하게 소개되어있다.²⁾ 트리메틸갈륨은 organometallic vapor phase epitaxy(MOVPE) 장치로 고품질의 GaAs 및 GaN 화합물 계열을 성장시킬 때 원료로 널리 사용되고 있으며,⁵⁻⁸⁾ 일반적인 유기금속화합물을 만들 때에도 사용된다.⁹⁻¹¹⁾

그러나 갈륨은 지각에 약 15 ppm (0.0015 %)가 매장되어있는 원소로서 납(13 ppm)보다 다량 존재하나 함량이 높은 광석이 거의 존재하지 않아 대부분 알루미늄이나 아연 제련공정의 부산물로부터 얻어지므로 매우 고가이며,¹²⁾ 산업에서는 GaN를 기반으로 3중, 4중 화합물 LED의 수요량이 증가할 뿐만 아니라, 전기적인 고장 한계가 높은 특성으로 고전류용 및 고전압용 소자로 활용범위가 넓어지고 있다. 갈륨의 이러한 특성 때문에 갈륨 회수에 관한 연구¹²⁻¹⁴⁾가 진행되어왔지만, 트리메틸갈륨에 대한 회수 및 정제에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 이로 인하여 2010년도에는 TMGa 품귀 현상이 일어나고 공급 차질이 일어나기도 하였다. 따라서 본 연구에서는 위와 같은 품귀현상을 방지하고자 metal organic chemical vapor deposition (MOCVD)에 장착되어 사용하고 남은 트리메틸갈륨에 대하여 회수하고 정제하여 재사용하는 기술을 개발 하고자 한다.

또한 정제 후 재이용 가능여부를 판단하기 위하여 신뢰성 평가로써 un-doped GaN(u-GaN)를 성장시키고 물성 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

사용 후 트리메틸갈륨의 잔량회수는 N_2 분위기에서 잔량의 트리메틸갈륨이 들어있는 용기의 위아래를 반전시켜 뒤집고, N_2 가스로 가압하여 회수용 저장용기에 회수 하였다. 일반적으로 산업에 사용하는 트리메틸갈륨의 용량은 4.4 Kg이고, 이중 약 10%가 잔량으로 남아있다. 트리메틸갈륨 회수 저장용기는 5 Kg기준으로 제작하였고, 10개 ~ 12개 정도의 트리메틸갈륨 잔량 용기를 모아서 트리메틸갈륨 회수 저장용기에 채웠으며, 압력을 사용해서 회수하기 때문에 용기에 약 80%만을 채웠다. 다음단계로, 트리메틸갈륨이 회수된 용기는 정제 공정으로 진행되는데, 정제 공정의 모식도는 Fig. 1에 나타내었다. 정제공정은 트리메틸갈륨 회수 저장용기를 약 50°C 로 가열하고, 수송가스(N_2 or H_2)를 MFC를 통해 일정하게 흐르게 하면, 트리메틸갈륨이 bubbling되면서 기화 되는데, 이때 정제 저장용기를 약 10^{-3} torr의 진공으로 만들어주면 기화점이 낮은 트리메틸갈륨만 정제 저장용기로 정제되어 이송된다. 그리고 정제되어 이송된 트리메틸갈륨을 고체화시키기 위해 LN_2 jacket으로 냉각 시켜 시료를 얻었으며, 트리메틸갈륨이 완벽히 고체가 되면 다시 진공을 만들어줘서 정제할 수 있는 환경을 만들었다.

정제한 트리메틸갈륨의 순도 및 불순물의 함유량을

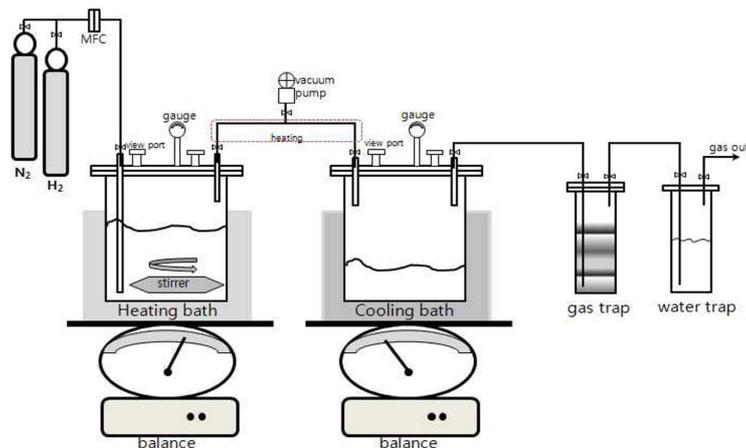


Fig. 1. Purification system of used TMGa.

Table 1. Ratio of recovery and purification for TMGa

번호	잔량(gram) (예상회수량)	회수량(g)	회수율(%)	1 batch amount(gram) 정제전/정제후	After purification TMGa (%)
1	323	310	96	3,860 g / 3,743 g	96.97%
2	350	340	97		
3	324	330	102		
4	517	520	100		
5	470	370	79		
6	362	360	99		
7	302	300	99		
8	327	320	98		
9	531	530	99		
10	486	480	99		
11	394	380	96	4,090 g / 4,080 g	99.76%
12	594	600	101		
13	362	360	99		
14	301	300	99		
15	383	380	99		
16	349	360	103		
17	490	490	100		
18	531	520	98		
19	379	380	100		
20	316	320	101		
21	447	450	100	4,230 g / 4,090 g	96.71%
22	384	380	99		
23	401	400	99		
24	343	340	99		
25	490	480	98		
26	512	510	99		
27	414	410	99		
28	290	290	100		
29	334	340	101		
30	333	320	96		
31	315	310	98		

분석하기 위하여 Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer(ICP-MS)와 Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy(ICP-AES)(Elan 6100/Perkin Elmer,USA)를 이용하였다. ICP분석을 위한 전처리 과정은 트리메틸갈륨이 발화성 물질이기 때문에 질소 분위기속에서 진행하였고, 트리메틸갈륨과 Isopropyl alcohol(IPA)을 1:6의 비율로 섞어서 전처리 준비를 하였다. 준비한 용액과 20% 질산을 섞어서 약

150°C 온도로 약 8시간동안 가열하면 하얀색 분말을 얻을 수 있는데, 이 분말을 1% 질산 용액에 희석시켜 ICP-MS, ICP-AES로 분석하였다.

트리메틸갈륨 precursor의 정제 전과 후에 화학적 구조를 확인하기 위하여 Nuclear magnetic resonance (NMR)(Bruker AVANCE 500 MHz spectrometers)을 이용하였다. 시료준비는 C₆D₆(NMR solvent)와 TMGa를 5:5 비율로 합성하여 NMR 측정용 tube에 넣어

Table 2. Result of ICP analysis for refined TMGa

Element	Commercial precursor	Reuse precursor	Element	Commercial precursor	Reuse precursor
	mg/L(ppm)	mg/L(ppm)		mg/L(ppm)	mg/L(ppm)
Ag	< 0.4	< 0.002	Nb	< 0.5	< 0.001
Al	-	< 0.001	Ni	< 0.5	< 0.001
As	< 0.5	< 0.5	P	< 0.5	< 0.5
Au	< 0.5	< 0.5	Pb	< 1.	< 0.001
B	< 0.4	< 0.4	Pd	< 0.5	< 0.001
Ba	< 0.1	< 0.001	Pt	< 0.5	< 0.001
Be	< 0.02	< 0.02	Rh	< 0.5	< 0.5
Bi	<0.05	< 0.001	S	< 1.	< 1.
Ca	-	< 0.008	Sb	< 1.	< 1.
Cd	< 0.02	< 0.001	Se	< 1.	< 1.
Co	< 0.4	< 0.4	Si	< 0.03	< 0.02
Cr	< 0.4	< 0.001	Sn	< 1.	< 1.
Cu	< 0.05	< 0.001	Sr	< 0.1	< 0.001
Fe	< 0.1	< 0.01	Tb	< 0.5	< 0.002
Ge	< 0.5	< 0.001	Te	< 0.2	< 0.001
Hg	< 0.5	< 0.001	Ti	< 0.2	< 0.002
La	< 0.4	< 0.001	V	< 0.5	< 0.001
Li	< 0.4	< 0.001	W	< 0.5	< 0.5
Mg	< 0.1	< 0.001	Y	< 0.02	< 0.002
Mn	< 0.03	< 0.001	Zn	< 0.2	< 0.005
Mo	< 0.5	< 0.5			

측정하였다.

또한 재이용 트리메틸갈륨의 신뢰성 검증을 위해 정제 후 트리메틸갈륨의 GaN 성장 테스트를 진행하였고, 신뢰성 검증은 MOCVD 장비에 재이용 트리메틸갈륨을 장착하고, un-doped GaN를 성장 시켰다. 그리고 성장시킨 GaN의 구조적, 광학적, 전기적 특성을 측정하였다. 구조적 특성은 XRD(Bruker-AXS D8) rocking curve의 full width at half maximum(FWHM)을 계산하여 결정성의 정도를 측정하였고, 광학적 특성은 photoluminescence를 측정하여 band edge emission의 FWHM을 계산하였다. 마지막으로 전기적 특성은 HALL effect를 측정하여 carrier 농도를 계산하였다. carrier 농도는 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$n = \frac{I_x B_z}{edV_H} \quad (1)$$

여기서, I_x 는 전류, B_z 는 자기장, e 는 전자 전하량, d 는 GaN 박막의 두께이다.

3. 실험 결과 및 고찰

잔량의 트리메틸갈륨은 회수 전 잔량과 회수 후 잔량을 확인하여 회수율을 계산하였고, 회수된 잔량의 트리메틸갈륨을 정제하기 위해 한 회수 저장용기에 담은 뒤 무게와 정제 저장용기의 정제 후 무게를 측정하여 정제 효율을 계산하고 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 이 결과 회수율의 평균은 약 98%이고, 회수율에 대한 정제를 또한 약 97%로 잔량의 트리메틸갈륨을 거의 모두

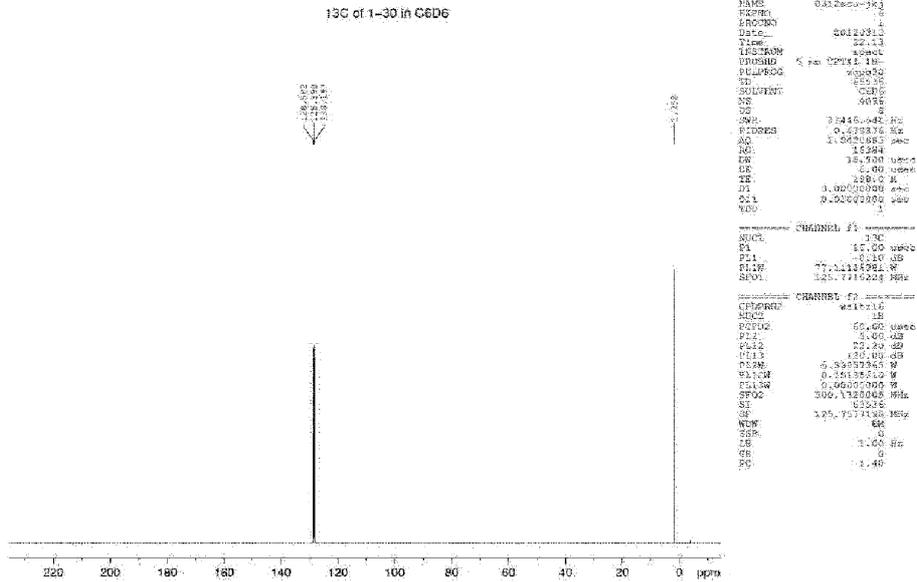


Fig. 2. NMR spectrum for refined TMGa.

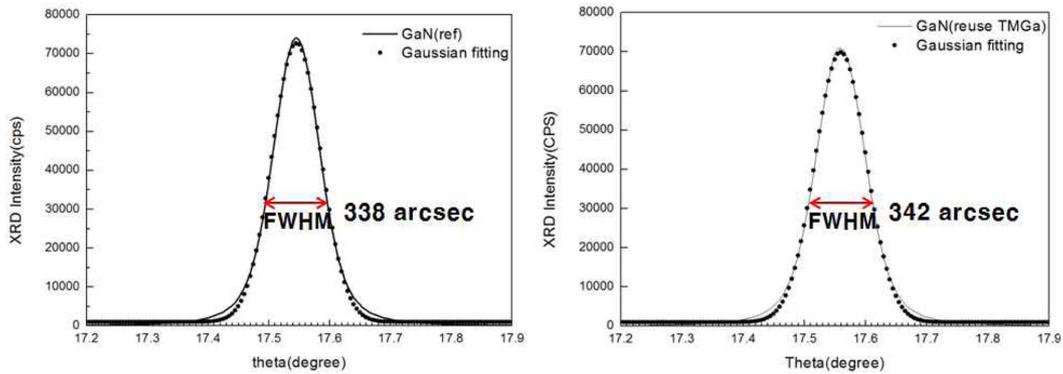


Fig. 3. XRD rocking curve of grown the un-doped GaN using refined TMGa.

회수/정제할 수 있음을 확인하였다.

Table 2은 정제를 진행하고, 샘플링 및 ICP전처리를 한 후에 ICP분석결과를 나타내었다. ICP 분석결과에서는 회수과정, 정제과정, 샘플링과정에서 발생할 수 있는 원소들을 선택하여 Ag, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Sb, Si, Te, Zn의 총41개의 주요 불순물 원소를 분석하였으며, 상용화 트리메틸갈륨에 대한 불순물의 총 함은 0.16 ppm이하로 6N(99.9999%)임을 확인하였고, 정제된 재이용 트리메틸갈륨의 불순물 총 함유량이 0.08 ppm이하로 미량임을 확인하였다. 또한 분석한 불순물의 함유량으로 확인했을 때, 정제된 트리메틸갈륨의 순도는

7N(99.99999%)의 고 순도임을 확인하였다. 이는 상용화된 트리메틸갈륨(6N)과 비교하여 재이용한 트리메틸갈륨의 순도가 고 순도임을 확인하였고, 정제시스템에서 회수/정제/충진 하는 동안에 precursor의 오염이 없음을 확인하였다.

Fig. 2는 트리메틸갈륨의 정제 후 NMR 스펙트럼이다. 1.752 ppm에서 트리메틸갈륨 피크를 확인하였고, 128.582, 128.390, 128.192 ppm에서 NMR 솔벤트인 3개의 벤젠(C6D6) 피크를 확인하였다. 이 결과로 볼 때 트리메틸갈륨이 정제 후에도 Ga(CH₃)₃(트리메틸갈륨)구조임을 하였다. 만약 유기 화합물의 결합이나 산화현상

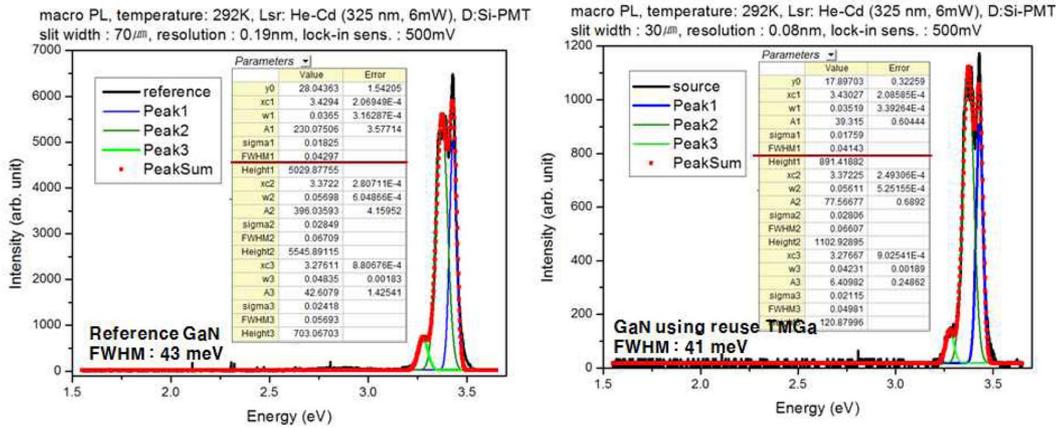


Fig. 4. PL spectrum of grown the un-doped GaN using refined TMGa.

이 일어났다면, 트리메틸갈륨과 NMR 솔벤트 피크외에 다른 피크가 관찰되었어야 하고, 화학적 변화가 일어났다면 트리메틸갈륨에 관련된 피크인 1.752 ppm 부근에서 피크 분리가 형성되어야 하지만, 본 연구에서는 트리메틸갈륨 피크와 NMR 솔벤트 피크 외에는 관찰되지 않았고, 피크 분리 현상이 일어나지 않았다.¹⁵⁾

Fig. 3은 잔량의 트리메틸갈륨에 대해 회수/정제된 precursor를 이용하여 u-GaN를 증착시키고, u-GaN의 결정질에 대한 XRD rocking curve 스펙트럼이다. 재이용 트리메틸갈륨을 이용하여 성장한 GaN의 경우 XRD Rocking Curve의 FWHM값이 342 arcsec임을 확인하였고, 똑같은 조건에서 같은 장비로 상용화된 트리메틸갈륨을 이용하여 성장시킨 GaN의 경우 FWHM값이 338 arcsec임을 확인하였다. 두 결과에서 결정성 차이가 크지 않으며 342 arcsec의 FWHM값은 연구용 GaN 소자의 FWHM 값과 유사하거나 더 낮은 값으로 결정성이 우수한 것으로 확인하였다.¹⁶⁾

Fig. 4는 정제 후 트리메틸갈륨을 이용하여 성장한 un-doped GaN의 PL 스펙트럼이다. 3.45 eV부근의 band edge emission을 확인할 수 있었다. band edge emission에서 exciton level 에서의 emission에 의하여 3개의 피크를 관찰하였는데 하나의 피크에 대한 FWHM을 계산하기 위하여 multi-peak Gaussian function을 이용하여 3개의 피크를 구분하였으며, 재이용 트리메틸갈륨을 이용하여 성장시킨 GaN PL에서 구분한 피크의 FWHM값을 계산한 결과는 약 41 meV로 나타났다. 또한 앞서 똑같은 조건에 상용화된 트리메틸갈륨을 이용하여 성장시킨 트리메틸갈륨의 PL에서 구분한 피크의 FWHM값은 43 meV로 현재 소자로 활용하고 있

는 GaN의 FWHM값과 유사하며,¹⁷⁾ FWHM값이 작을수록 결정결함이 적고 빛의 파장이 분산되지 않으므로, 재이용 트리메틸갈륨의 사용이 가능함을 확인하였다.

마지막으로, u-GaN의 전기적 특성은 Hall effect 측정 결과를 이용하여 carrier 농도 값을 얻었고 이동도를 계산하였다. 일반적인 반도체에서 carrier 농도에 따라 $\sim 10^{17}$ 까지는 이동도가 증가하다가 그 이후에는 감소하는 것으로 알려져 있으며, carrier 농도가 지속적으로 증가하면 결정성을 평가하는 XRD Rocking Curve의 FWHM값과 PL의 Band Edge peak의 FWHM 값이 커지며 PL의 경우에는 PL intensity가 감소하는 것으로 알려져 있어서 발광소자로서 나쁜 영향을 준다.^{18,19)} 본 연구에서 측정된 carrier 농도 값은 $4.05 \times 10^{16}/\text{cm}^{-3}$ 으로 우수한 결정질의 un-doped GaN carrier 농도 유사하며,¹⁶⁾ carrier의 이동도는 계산을 통해 $262.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 값을 얻었다.

4. 결 론

본 연구에서는 MOCVD 장비를 이용하여 LED용 GaN를 제조할 때 사용되는 트리메틸갈륨에 대해 사용 후 잔량을 회수/정제 시스템을 구축하여 정제를 진행하고 그 특성을 분석하였다. ICP 분석 방법을 이용하여 트리메틸갈륨의 불순물 원소들과 그들의 함유량을 확인하였고, 회수된 트리메틸갈륨의 순도가 7N(99.99999%)임을 확인하였다. 또한 NMR 분석 방법을 이용하여 회수된 트리메틸갈륨의 화학결합이 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ 구조임을 확인하였다. 트리메틸갈륨의 화학적 특성을 분석한 결과 상용화된 트리메틸갈륨보다 더 고 순도임을 확인하였고,

트리메틸갈륨의 화학구조에 이상이 없음을 확인하였으며, LED 제조용 GaN를 성장시키는 MOCVD의 트리메틸갈륨 precursor로 사용가능할 것으로 판단하였다.

또한 재이용 트리메틸갈륨의 신뢰성 검증을 위하여, MOCVD 장치에 정제 후 재이용 트리메틸갈륨을 장착하고 GaN를 성장하였으며, 그 물성 특성을 분석하였다. XRD rocking curve의 FWHM을 계산하여 결정성을 확인하였고, 그 값이 342 arcsec임을 확인하였다. 또한 광학적 특성을 확인하기 위하여 PL을 분석하여, band edge 피크를 확인하였고, 피크의 FWHM을 계산한 결과 약 41 meV임을 확인하였다. 마지막으로 carrier 농도 값은 HALL effect를 이용하여 측정 후 계산한 값으로 얻을 수 있었다. 본 연구에서 증착한 un-doped GaN는 n-type이며, carrier concentration은 $4.05 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 이다.

회수/정제 하여 순도분석과 화학구조 분석으로 고순도 트리메틸갈륨이 정제 되었는지 확인하였고, 적합성을 판단하였다. 또한 GaN 성장 테스트를 거쳐 실제 사용 가능함을 확인하였다.

참고문헌

1. C.A. Kraus, F.E. Toonder, 1933: *Trimethyl Gallium, Trimethyl Gallium Etherate and Trimethyl Gallium Ammine*, proc. Acad. Sci., 19, 292-298.
2. C.A. Kraus, F.E. Toonder, 1933: *The Action of Sodium upon Trimethylgallium and Dimethylgallium chloride in Liquid Ammonia*, J. Am. Chem. Soc., 55, 3547-3554.
3. K.B. Starowieyski, A. Chwojnowski, K. Jankowski, J. Lewinski, J. Zachara, 2000: *Synthesis and purification of trimethylgallium for MOCVD: molecular structure of (KF)4·4(Me3Ga)*, Appl. Organomet. Chem., 14, 616-622.
4. E. Wilberg, T. Johannsen, O. Strecher, 1943: *Zur Kenntnis des Galliumtrimethyls*, Z. Anorg. Allg. Chem., 251, 114-124.
5. Z. Zhang, B. Huang, D. Cui, 2001: *Growth of AlGaP in GaAs substrate by metalorganic vapor phase epitaxy*, Mater. Sci. Eng. B., 86, 147-151.
6. T. Barfels, H.-J. Fitting, J. Jansons, A. Tale I, A. Veispals, A. Von Czarnowski, H. Wulff, 2001: *Structure and luminescence of GaN layers*, Appl. Surf. Sci., 179, 191-195.
7. S. P. Watkins, T. Pinnington, J. Hu, P. Yeo, M. Kluth, N. J. Mason, R. J. Nicholas, P. J. Walker, 2000: *Infrared single wavelength gas composition monitoring for metalorganic vapour-phase epitaxy*, J. Cryst. Growth., 221, 166-171.
8. Z.-J. Liu, B. Atakan, K. Kohse-Hoinghaus, Katharina, 2000: *Deposition of hexagonal GaN n-propylamine as a nitrogen precursor*, J. Cryst. Growth., 219, 176-179.
9. H. U. Schwering, H. Olapinski, E. Jungk, J. Weidlein, 1974: *Bis(dialkylmetall)quadratate der elemente aluminium, gallium und indium*, J. Organomet. Chem., 76, 315-324
10. I. L. Wilson, K. Dehnicke, 1974: *Trialkylgallium-halogeno-komplexe $[R_3GaX]^-$ und $[(R_3Ga)2X]^-$ mit $X=F, Cl, Br$* , J. Organomet. Chem., 67, 229-235.
11. R. N. Grimes, W. J. Rademaker, M. L. Denniston, R. F. Bryan, P. T. Greene, 1972: *Carboranes Containing Gallium and Indium Cage Heteroatoms, Synthesis, Molecular structure and Reactions*, J. Am. Chem. Soc., 94, 1865-1869.
12. Y. Y. Choi, C. W. Nam, Y. T. Yu, W. Y. Kim, 2005: *Recovery of Gallium from GaAs Scraps by Thermal Decomposition*, J. of Korean Inst. of Resources recycling, 14, 28-32.
13. S. G. Kim, H. Y. Lee, J. K. Oh, 2000: *Recovery of Gallium from Zinc Residues by Solvent Extraction*, J. of Korean Inst. of Resources recycling, 9, 29-36.
14. J. G. Yang, S. S. Lee, J. H. Kim, Y. G. Hwang, 1993: *Recovery of Gallium from Steelmaking Dust*, J. of Korean Inst. of Resources recycling, 2, 27-32.
15. Z. Cerny, J. Machacek, J. Fusek, O. Kriz and B. Casensky, 1993: *Ga NMR studies of mixtures of gallium trichloride and trimethylgallium*, J. Organomet. Chem., 456, 25-30.
16. K. S. Kim, C. S. Oh, W. -H. Lee, K. J. Lee, G. M. Yang, C. -H. Hong, E. -K. Suh, K. Y. Lim, H. J. Lee, D. J. Byun, 2000: *Comparative analysis of characteristics of Si, Mg, and undoped GaN*, J. Cryst. Growth., 210, 505-510.
17. S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, S. Nakamura, 1996: *Excitonic emissions from hexagonal GaN epitaxial layers*, J. Appl. Phys. 79, 2784-2786.
18. J S Kim, D Y Lee, I H Bae, 2001: *Growth of High quality Mg-doped GaAs by molecular beam epitaxy and Its properties*, J. Kor. Phys. Soc. 39, S518-S521.
19. V W L Cin, T L Tansley, T Osochan, 1994: *Electron mobilities in Gallium, indium, and aluminum nitrides*, J. Appl. Phys. 75, 7365-7373.



양재열

• 현재 충남대학교 물리학과 박사과정

오병성

• 현재 충남대학교 물리학과 교수



윤재식

• 현재 한국기초과학지원연구원 선임
연구원

공 지 사 항

국문학회지 “資源리사이클링” 한글만 사용

그간 학회지에 게재되는 모든 원고의 국문제목과 저자명, 소속 등에 한자를 혼용하도록 권장하였습니다.

그러나 한자로 작성하는데 적잖은 번거로움이 있다는 회원분들의 의견과 뜻을 오기하여 작성하는 경우가 간혹 발생하여 2014년부터 발간되는 학회지(23권 1호부터)는 한글로 작성하도록 원칙을 수정하였습니다.

이점 참고하셔서 작성하여 주시고, 훌륭한 원고 많이 투고하여 주시기 바랍니다.