

**Penumbuhan Film Tipis Semikonduktor
Ferromagnetik GaN:Mn Menggunakan Metode
*Plasma Assisted Metal Organic Chemical
Vapor Deposition (PA-MOCVD)***

**Oleh
Budi Mulyanti
30201015**

**Tim Pembimbing
Dr. Sukirno
Prof. Dr. M. Barmawi
Dr. Pepen Arifin
Dr. Maman Budiman**

OUTLINE

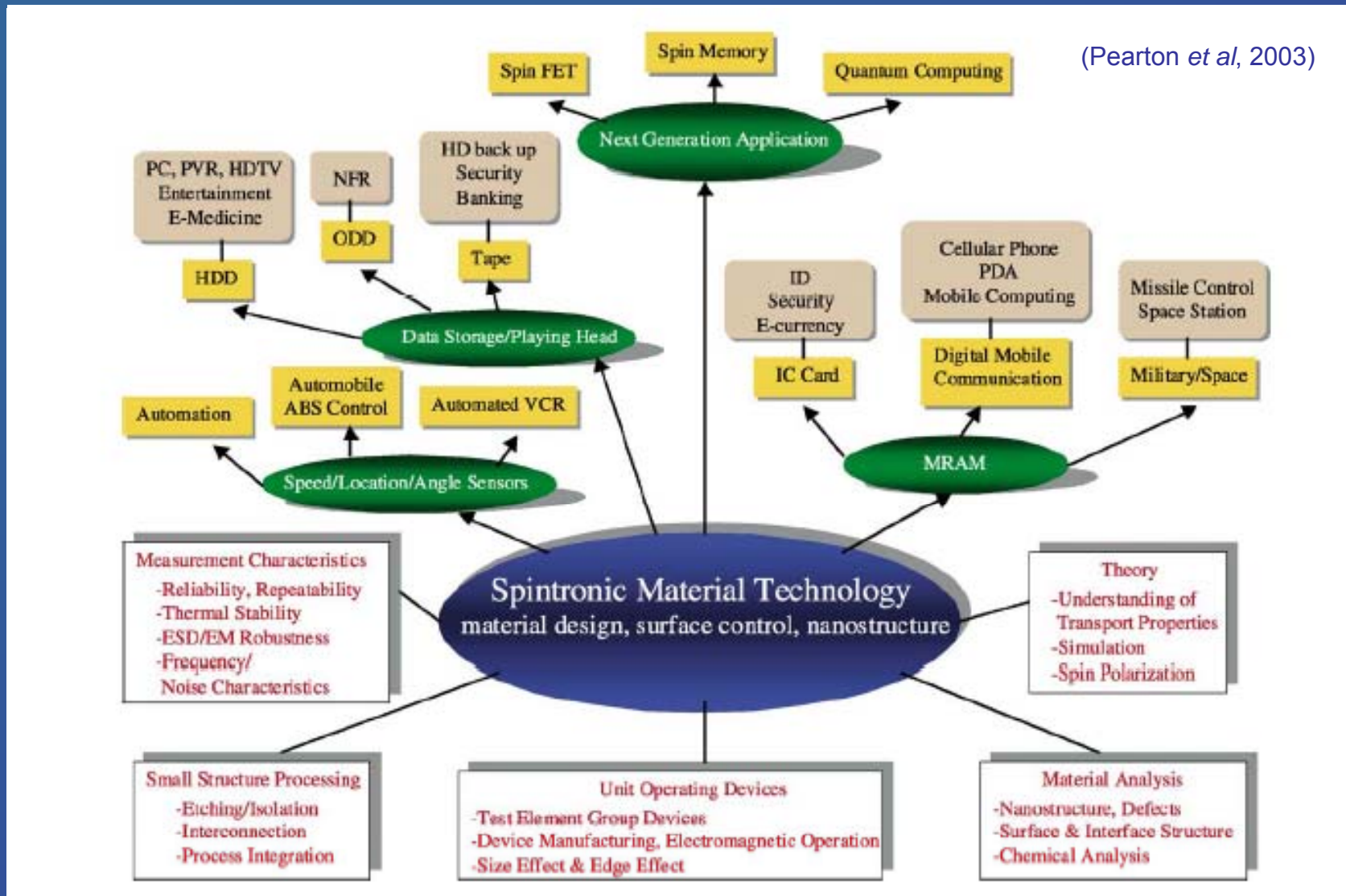
- Pendahuluan
 - Divais spintronik
 - Material DMS
 - GaN:Mn
 - Sistem PA-MOCVD
 - Tujuan dan ruang lingkup penelitian
- Penumbuhan GaN:Mn
- Karakterisasi
 - Sifat struktur & morfologi permukaan film
 - Sifat magnetik
 - Sifat listrik dan optik
- Kesimpulan & saran
- Hal baru/kontribusi ilmiah
- Publikasi ilmiah

PENDAHULUAN

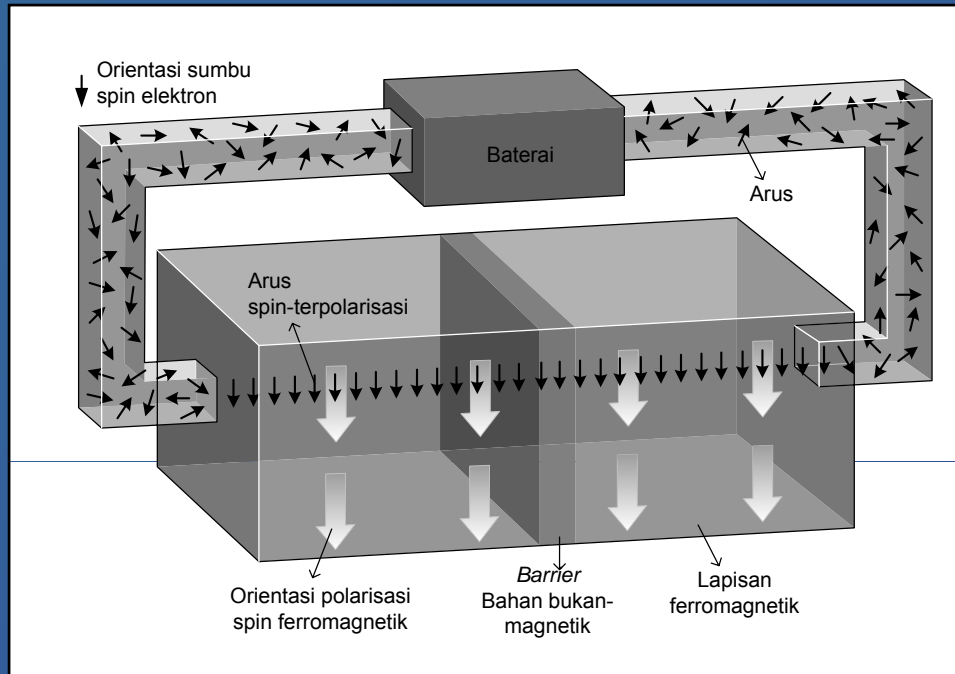
SPINTRONIK

- Perkembangan teknologi informasi
→ industri SK dan penyimpanan data magnetik
- Perkembangan industri SK:
 - divais elektronik → mempercepat laju pemrosesan data
→ memperkecil ukuran divais
 - divais optoelektronik, mis LED
→ keunggulan memiliki waktu hidup lebih panjang
- Perkembangan teknologi penyimpanan data
→ keunggulan sifat *NON VOLATILE*
- Dalam upaya penggabungan keunggulan ketiga bidang
→ divais SPINTRONIK

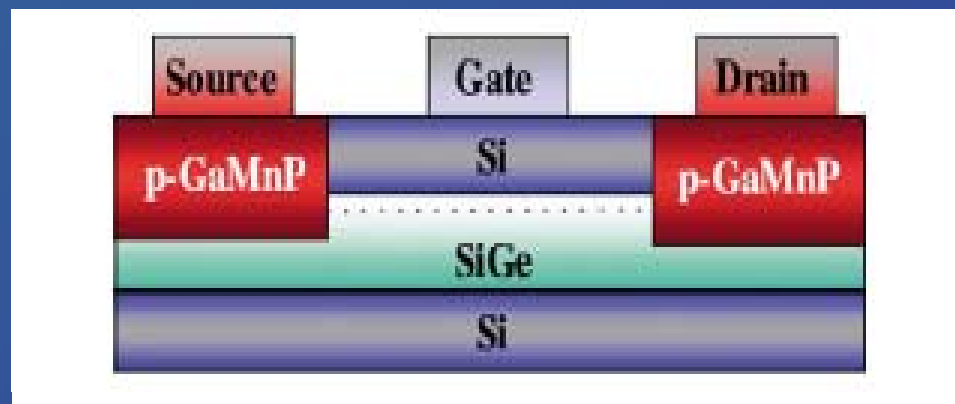
ROAD MAP DIVAIS SPINTRONIK



CONTOH DIVAIS SPINTRONIK



← magnetik tunnel junction (MTJ)



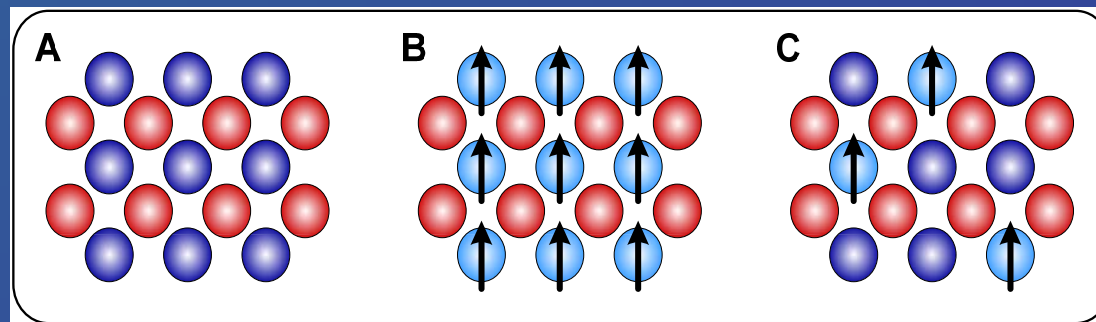
← Spin-FET konfigurasi *Datta-Das*

MENGAPA DMS?

Kebutuhan DMS (*diluted magnetic semiconductor*) dipicu oleh rendahnya efisiensi injeksi spin dari logam FM ke lapisan semikonduktor,

Contoh: Ni, efisiensi 0,05 % (Schmidt, 2001)

DMS: Semikonduktor yang diberi doping ion-ion magnetik.
Ion magnetik dopan → menyebabkan adanya momen magnetik spin



Semikonduktor

Semikonduktor
magnetik

DMS

SYARAT DMS UNTUK SPINTRONIK

- ❖ $T_C \geq RT$
- ❖ Memiliki sifat listrik dan optik yang cocok dengan material induk
- ❖ Teknologi material induk → telah dikembangkan untuk aplikasi yang lain
Contoh: GaAs → LED infra merah,
high speed digital electronics
InAs → sensor magnetik
GaN → laser diode warna hijau, detektor UV
- ❖ Efisiensi injeksi spin yang tinggi (Reed, 2003, Pearon, dkk., 2003)

KANDIDAT MATERIAL DMS

DMS berbasis III-V:Mn, seperti GaAs:Mn dan InAs:Mn → memiliki $T_C \ll$ temperatur kamar

→ GaN:Mn

Mengapa GaN:Mn?

- ❖ Teknologi material induk GaN telah *established* [Pearson, dkk., 2003]
- ❖ Model *Mean – field* → memprediksikan GaN:Mn, $T_C > RT$ [Dietl, dkk, 2000]
- ❖ Berdasarkan perhitungan perbedaan energi → kestabilan FM GaN:Mn
[Sato dan Katayama-Yoshida, 2001]
- ❖ Bersifat *half metallic* → ideal untuk injeksi spin [Kronik, dkk, 2002 dan Jain, dkk, 2002]
- ❖ Mn adalah dopan yang paling ideal → menghasilkan momen sampai 4 Bohr magneton [Ohno, dkk, 1992]

PERKEMBANGAN PENUMBUHAN GaN:Mn

METODE, T_g (°C)	% Mn	T_C (K)	REFERENSI
Sintesa <i>alloy</i> Ga/Mn 1200-1250	0,5 kristal <i>bulk</i>	2-300	Szyszko, dkk., 2001 Zajak, dkk., 2003
Ion implantation	5×10^{16} /cm ²	~250	Theodoropoulo, dkk., 2001
MBE, 865	7,0	~25	Overberg, dkk., 2001
GS MBE, 700-925	3,5 -9,0	~300	Overberg, dkk., 2002
MBE, 700 -750	3,0-12,0	~300	Thaler, dkk., 2002 Thaler, 2004

Dengan MBE dapat menghasilkan kristal tunggal dengan konsentrasi Mn tinggi, NAMUN memiliki kendala: biaya operasional yang tinggi

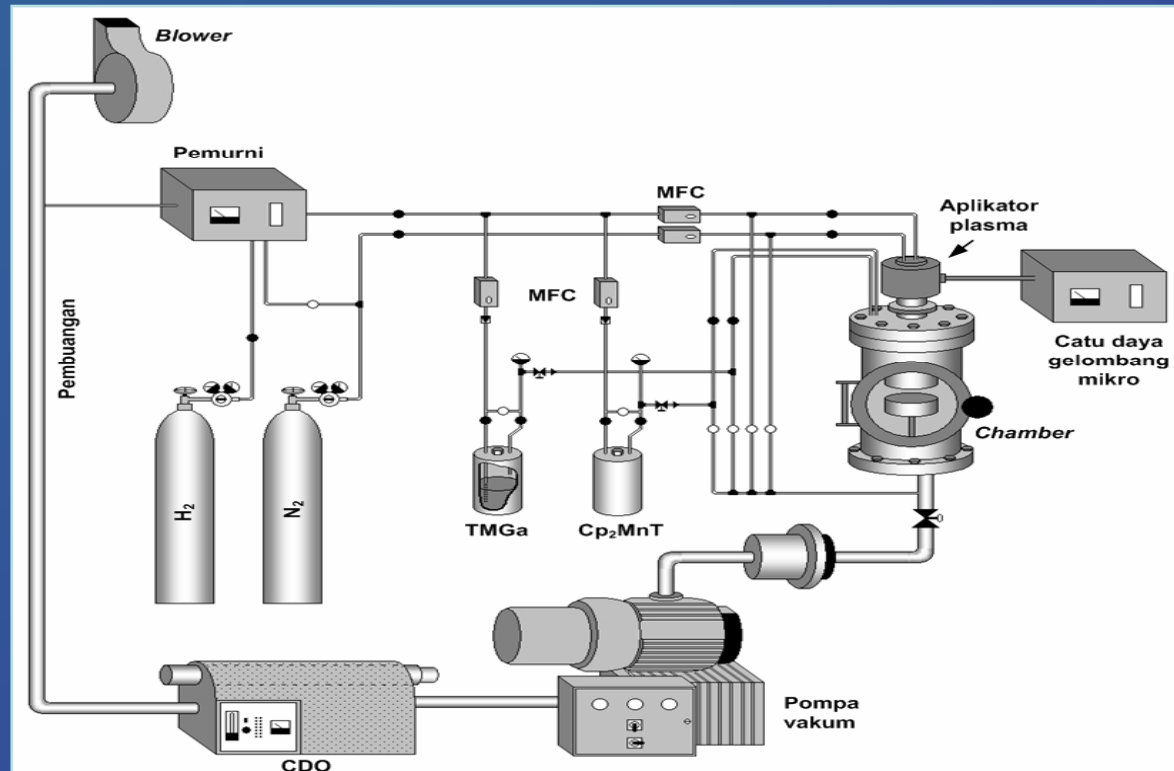
PERKEMBANGAN PENUMBUHAN MOCVD-GaN:Mn

T _g (°C)	SUMBER	% Mn	T _c (K)	REFERENSI
1060	TCM		Semi insulator	Korotkov, dkk., 2002
850-1040	(EtCp) ₂ Mn	0,6 -2,3	228 – 520	Reed, 2003
900-1050	(Cp) ₂ Mn	1,2-1,5	~300	Kane, dkk., 2005
			Semi insulator	
900-1050	(Cp) ₂ Mn	1,2-1,5	~300	Strassburg, dkk., 2005

Semuanya memiliki kelemahan : T_g yang tinggi

T_g yang tinggi → sulit mengontrol atom-atom nitrogen → muncul fase kedua
 → tidak cocok untuk aplikasi divais *multilayer*

MENGAPA PA-MOCVD?



Reaktor PA-MOCVD → MOCVD dengan aplikator plasma
→ menghasilkan nitrogen radikal → menurunkan T_0

TUJUAN PENELITIAN

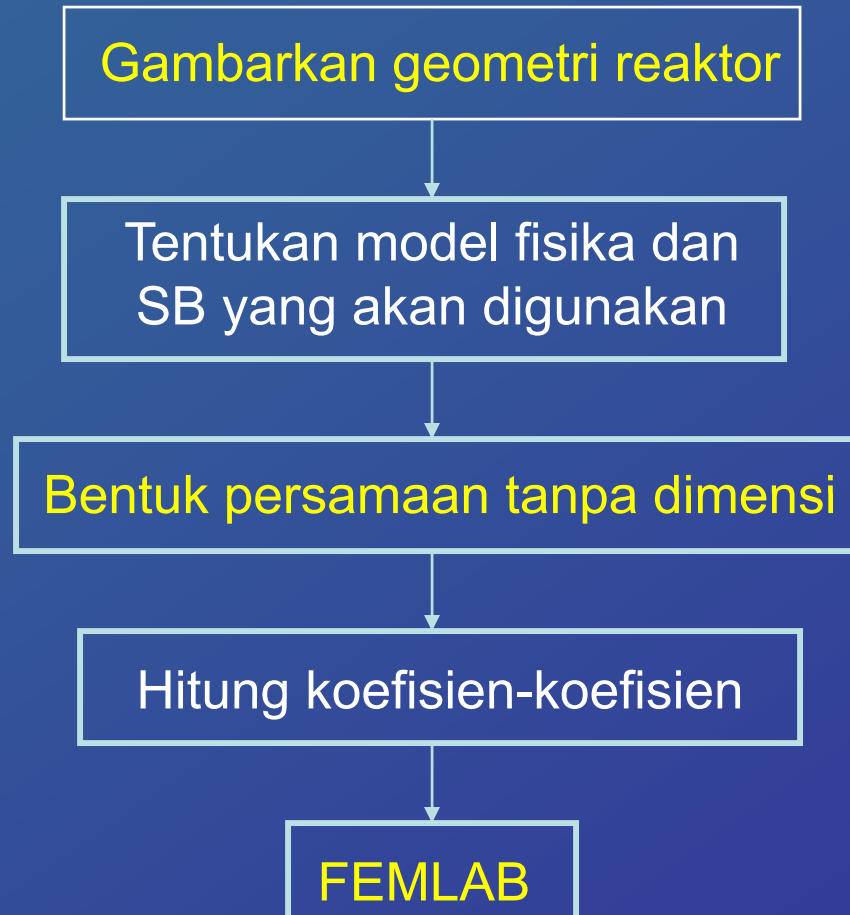
1. Menghasilkan metode penumbuhan untuk memperoleh film tipis GaN:Mn yang memiliki karakteristik yang tepat untuk aplikasi divais spintronik.
2. Memahami kaitan antara temperatur penumbuhan dan konsentrasi Mn dengan sifat magnetik GaN:Mn.
3. Menghasilkan film tipis GaN:Mn yang homogen dan memiliki sifat-sifat listrik dan optik yang sesuai dengan semikonduktor GaN.

RUANG LINGKUP DAN BATAS PENELITIAN

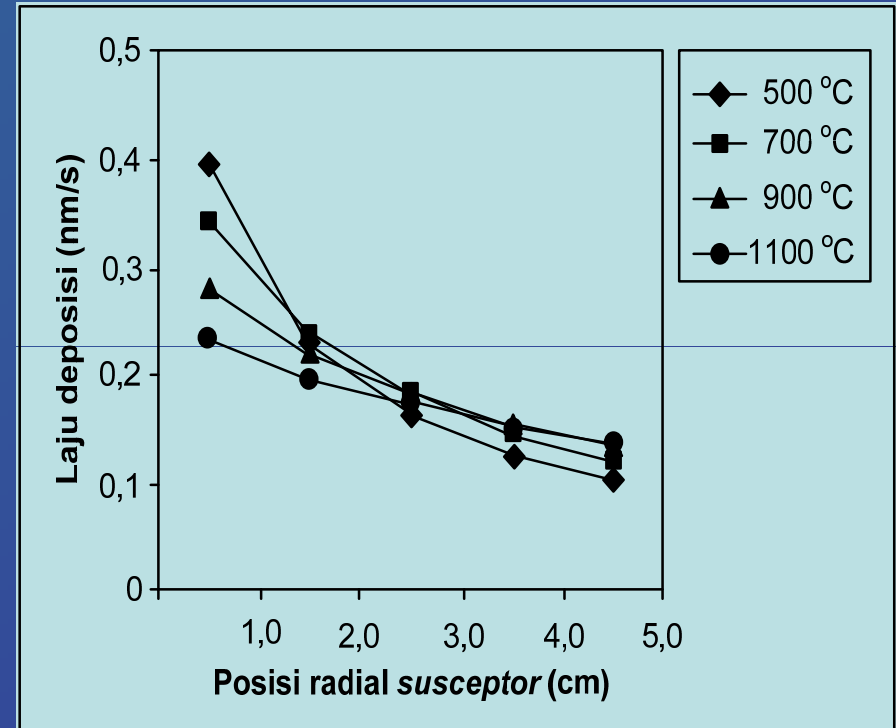
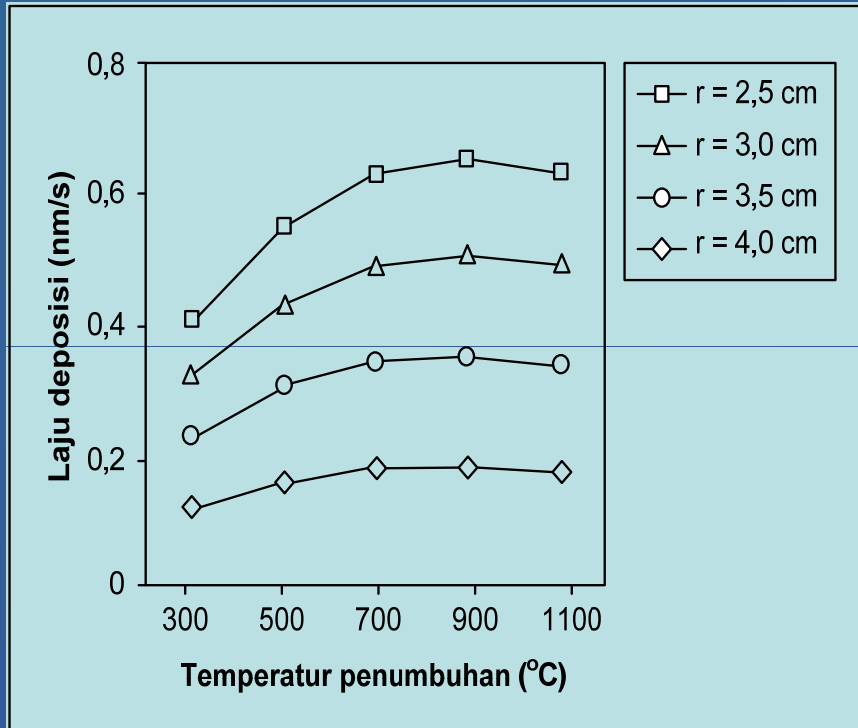
1. Simulasi penumbuhan GaN:Mn dengan metode MOCVD
2. Penumbuhan film tipis GaN:Mn dengan metode PA-MOCVD di atas safir (0001), sumber:
 - TMGa
 - gas nitrogen UHP
 - CpMnT
3. Karakterisasi film tipis GaN:Mn
 - komposisi atom dalam GaN:Mn → EDS
 - struktur dan orientasi film → XRD, HR-XRD
 - morfologi permukaan film → SEM dan AFM
 - sifat magnetik → VSM
 - sifat listrik → metode Hall-van der Pauw
 - sifat optik → UV Vis

Simulasi Penumbuhan GaN:Mn

LANGKAH SIMULASI



HASIL SIMULASI (1)



Ada 3 daerah temperatur penumbuhan sesuai teori Jones dan O'Brien (1997) dan Briot (1998)

HASIL SIMULASI (2)

T_g (°C)	Laju penumbuhan (nm/s) pada $r = 3,5$ cm	Daerah kehomogenan (cm)
300	0,092	-
500	0,127	-
700	0,148	-
900	0,156	3,5 – 4,5
1100	0,153	3,5 – 4,5

Stringfellow (1988) :

Pada T_g rendah

→ sulit diperoleh daerah kehomogenan.

Pada T_g tinggi

→ daerah kehomogenan pada $r > 3$ cm.

Laju penumbuhan 0,153 nm/s (0,55 $\mu\text{m}/\text{jam}$) pada $T_g = 1100$ °C & 0,156 nm/s (0,56 $\mu\text{m}/\text{jam}$) pada $T_g = 900$ °C.

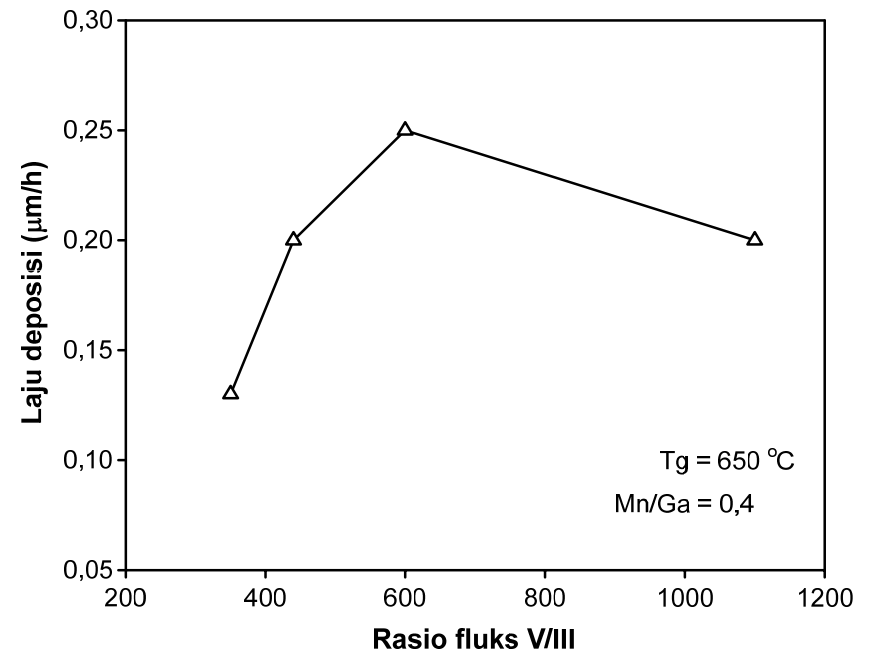
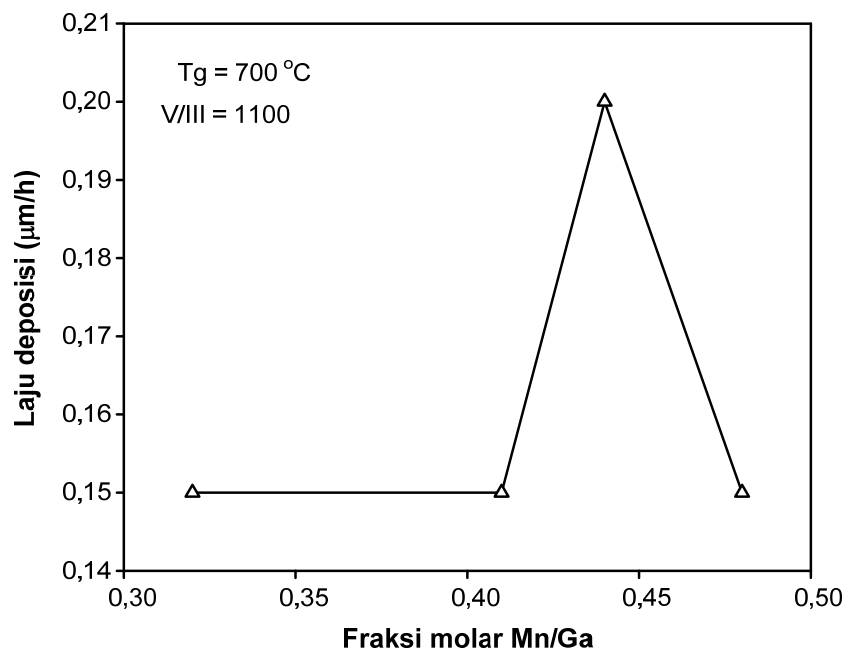
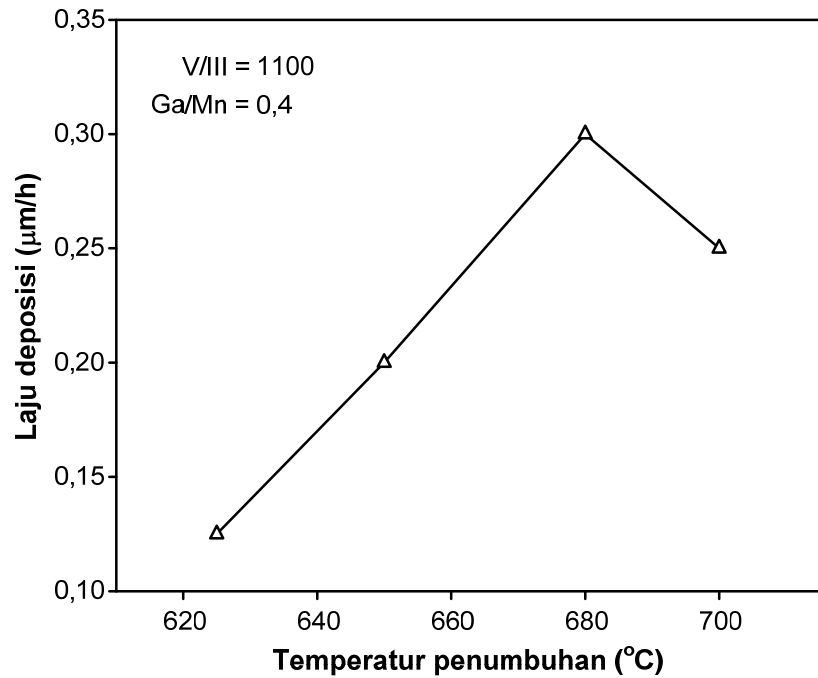
(Sesuai hasil eksperimen penumbuhan GaN dengan sumber TEGa) pada $p = 76$ Torr, $T_g = 900$ °C → 1,1 $\mu\text{m}/\text{jam}$)

PENUMBUHAN GaN:Mn

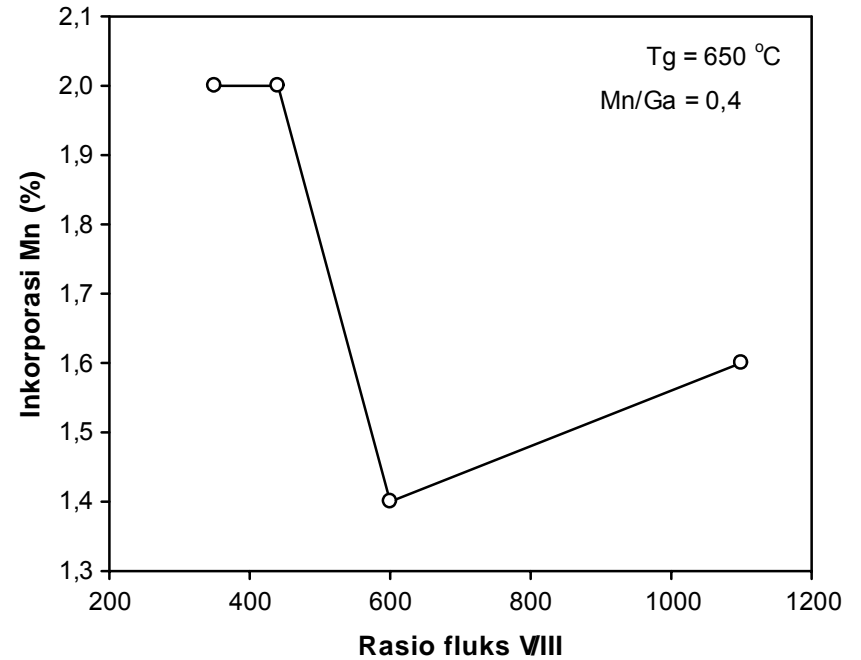
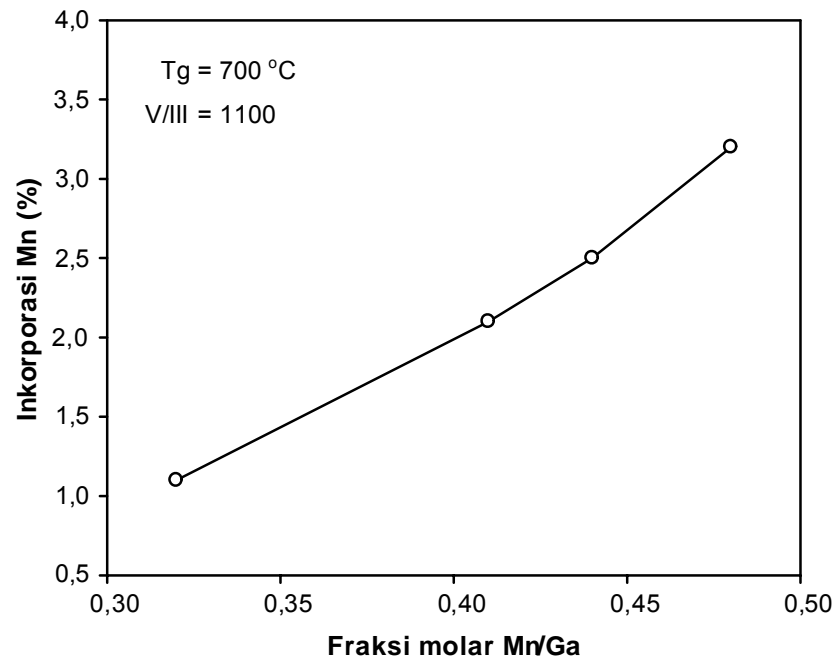
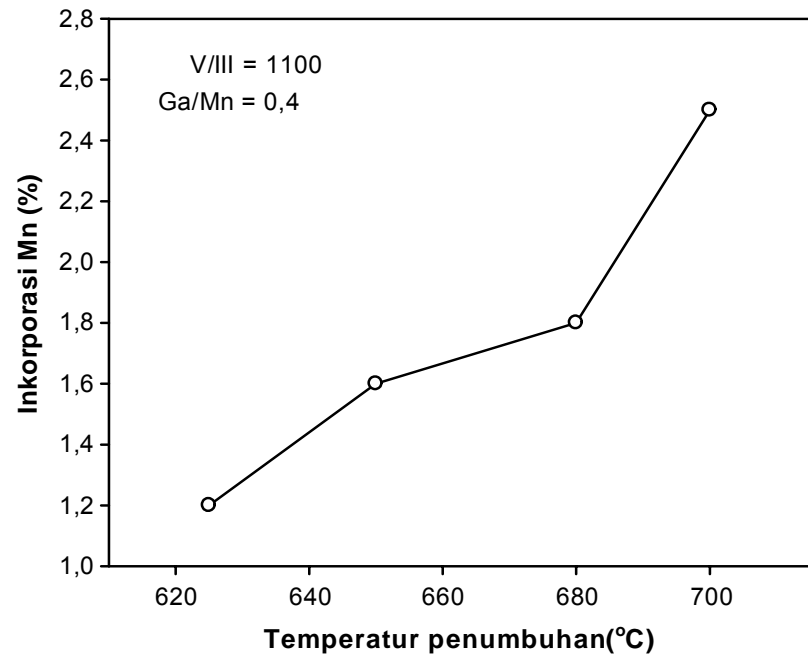
Parameter penumbuhan GaN:Mn

Temperatur penumbuhan	625 - 700 °C
Tekanan reaktor	0,03 - 0,05 Torr
Laju alir TMGa (-10 °C)	0,06 - 0,19 sccm
Laju alir N ₂	70 - 120 sccm
Laju alir CpMnT	0,02 - 0,06 sccm
Temperatur <i>bubbler</i> CpMnT	27 - 50 °C
Daya plasma	150 - 200 watt
Waktu penumbuhan	1,5 - 2,0 jam

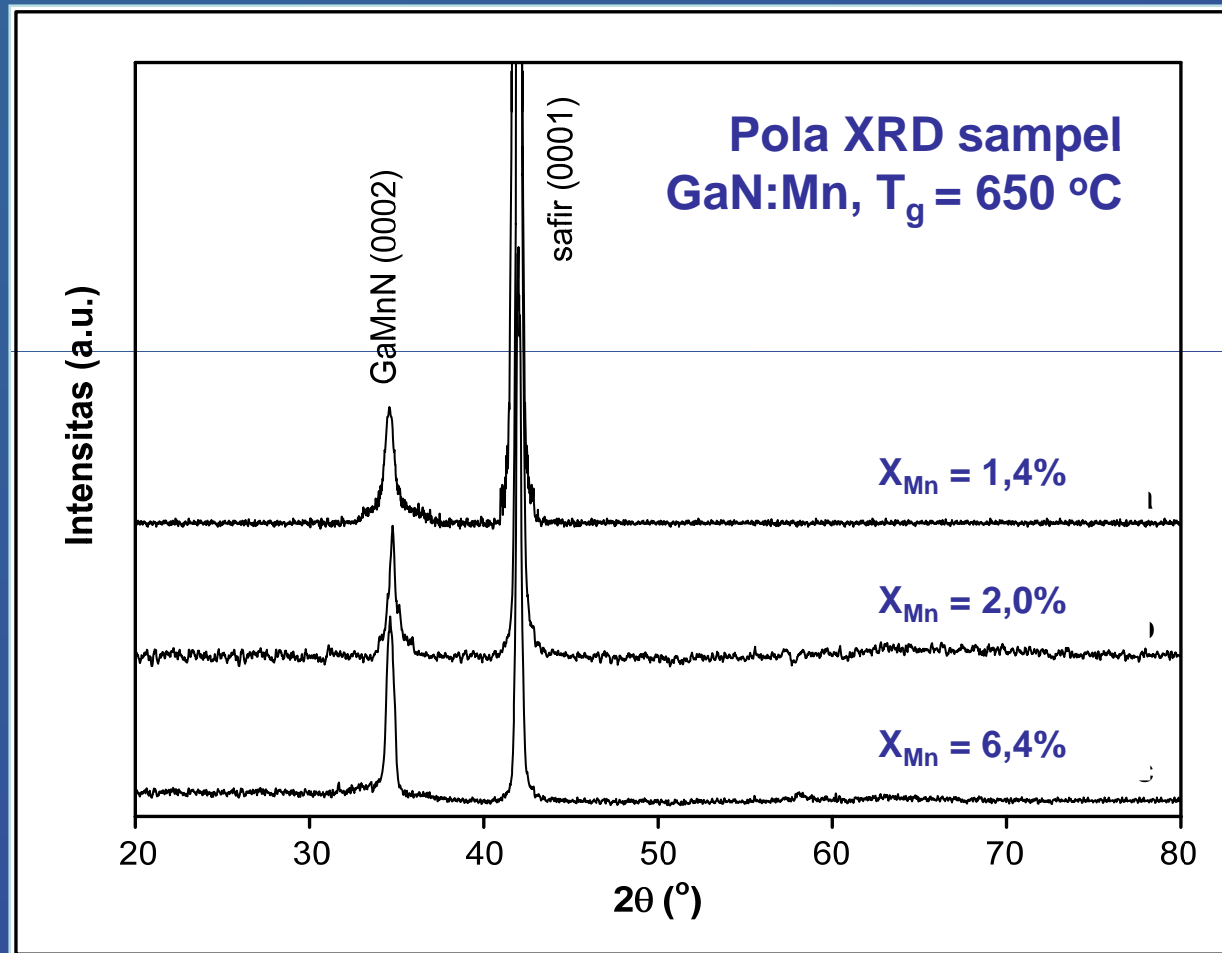
LAJU PENUMBUHAN GaN:Mn



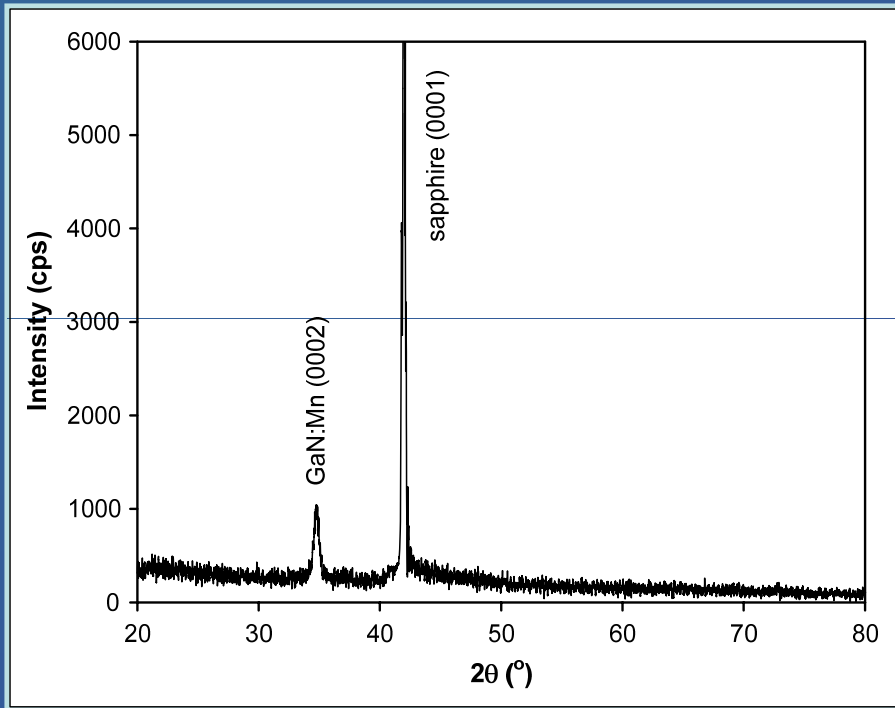
INKORPORASI Mn KE DALAM GaN:Mn



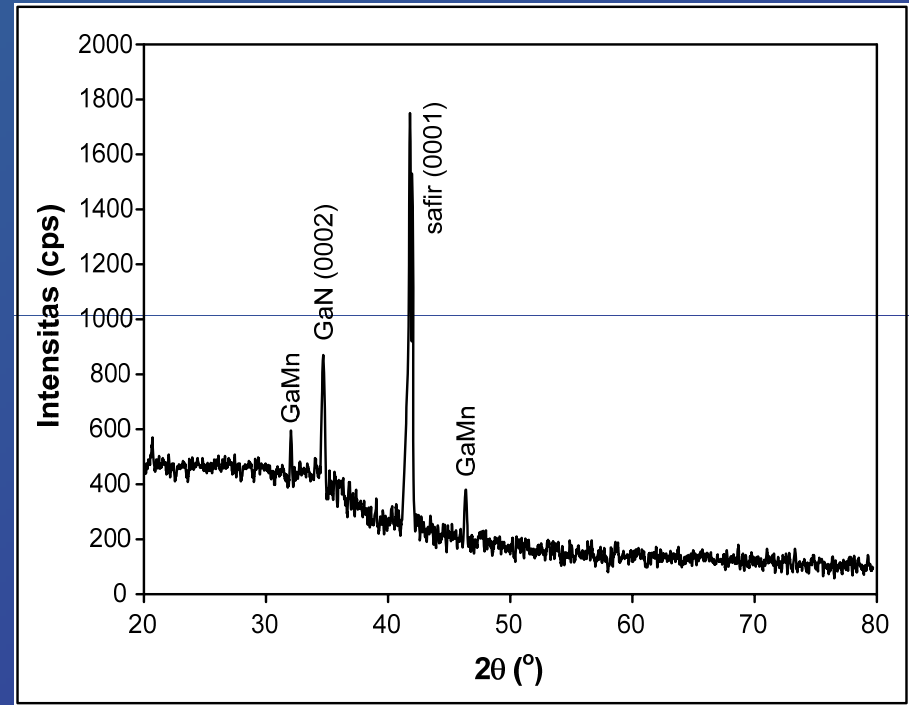
Sifat Struktur GaN:Mn (1)



Sifat Struktur GaN:Mn (2)

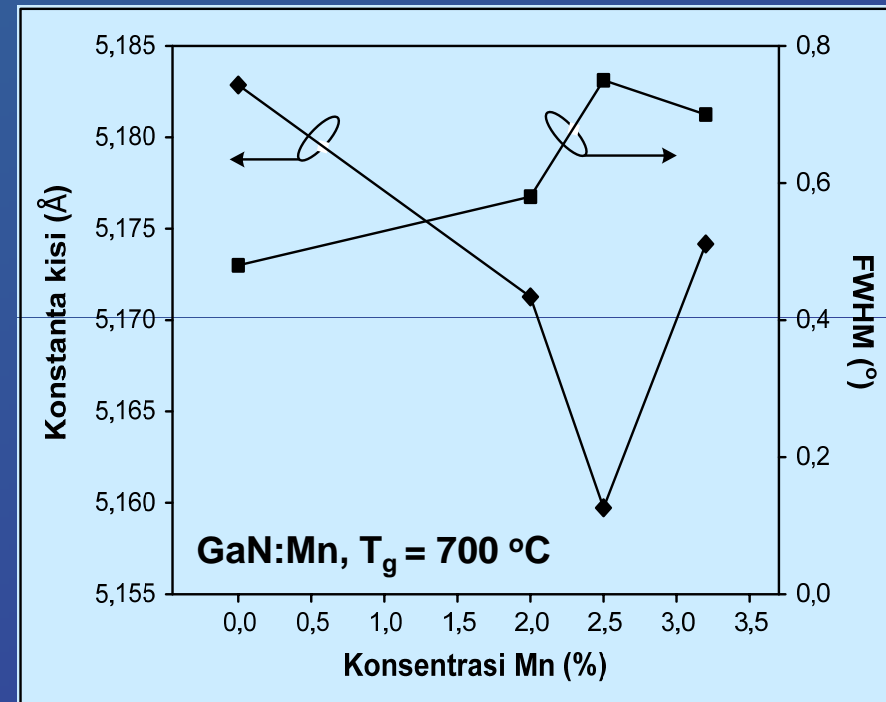
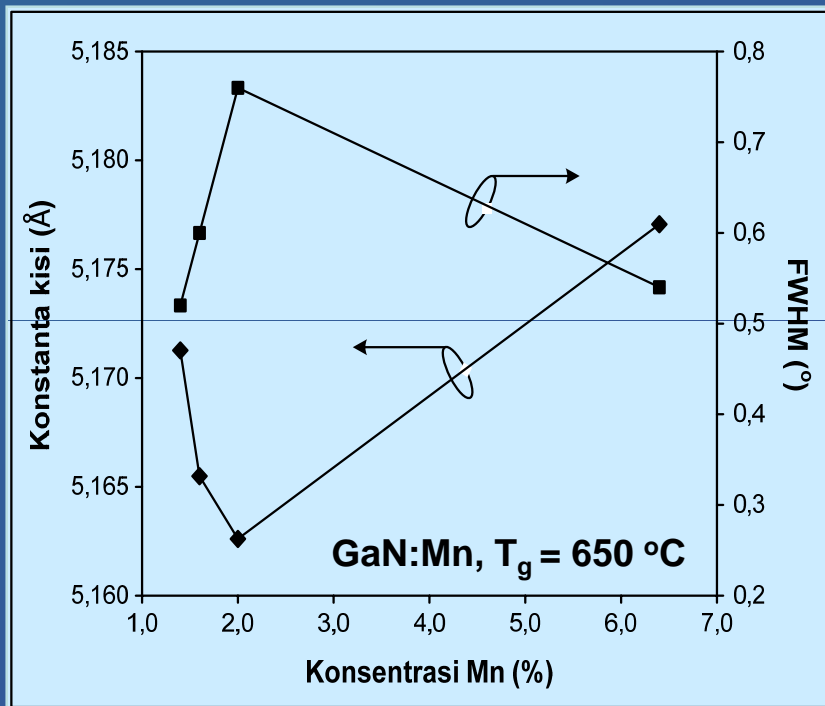


Pola HR-XRD sampel GaN:Mn,
 $T_g = 650 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan $x_{\text{Mn}} = 6,4\%$



Pola HR-XRD sampel GaN:Mn,
 $T_g = 700 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan $x_{\text{Mn}} = 6,4\%$

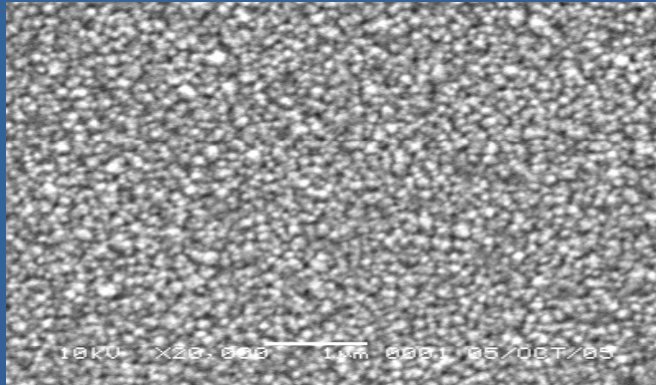
Konstanta Kisi & FWHM



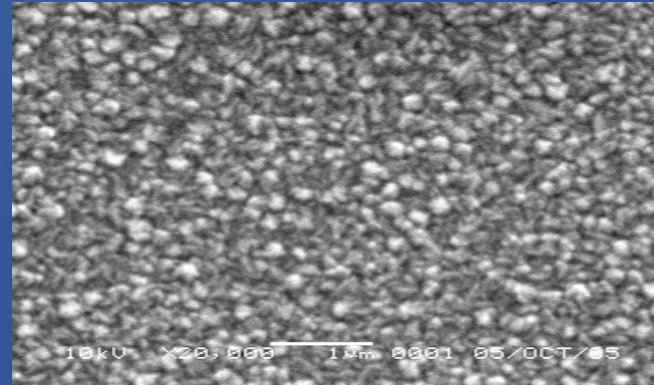
PA-MOCVD GaN:Mn $\rightarrow (\Delta c)_{\text{maks}} = -0,45 \text{ } \%$ ($x_{\text{Mn}} = 0,02$)

MBE-GaN:Mn ($x_{\text{Mn}} = 0,005$) $\rightarrow (\Delta c)_{\text{maks}} = -0,094 \text{ } \%$ (Chang, dkk., 2005)

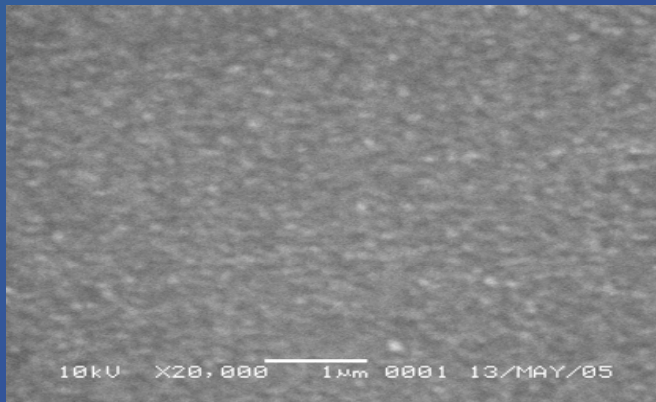
MORFOLOGI PERMUKAAN GaN:Mn



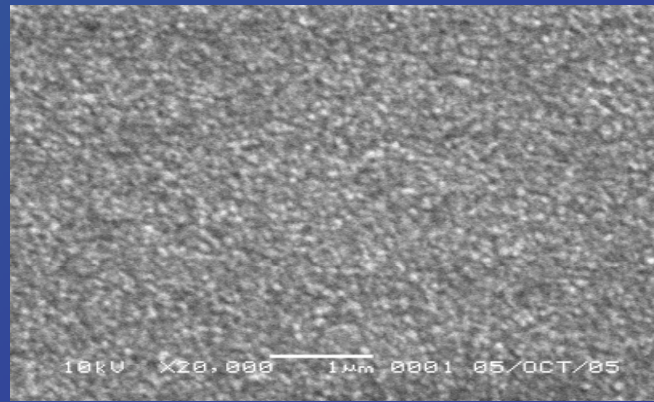
$T_g = 700\text{ °C}$



$T_g = 680\text{ °C}$



$T_g = 650\text{ °C}$

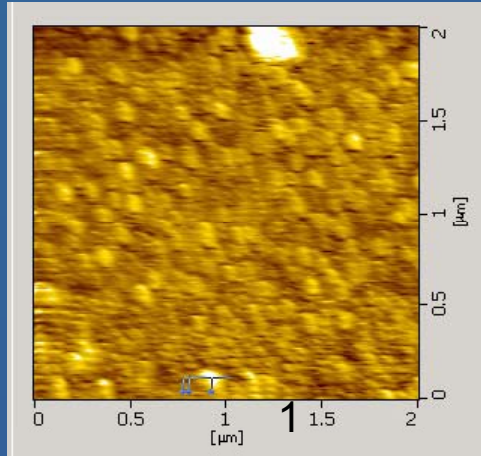


$T_g = 625\text{ °C}$

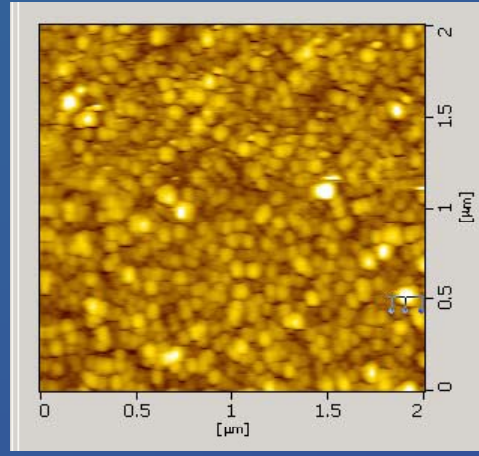
$V/III = 1100$
 $Mn/Ga = 0,4$

Citra SEM

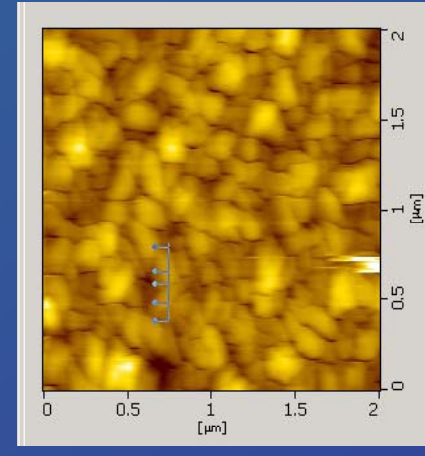
MORFOLOGI PERMUKAAN GaN:Mn



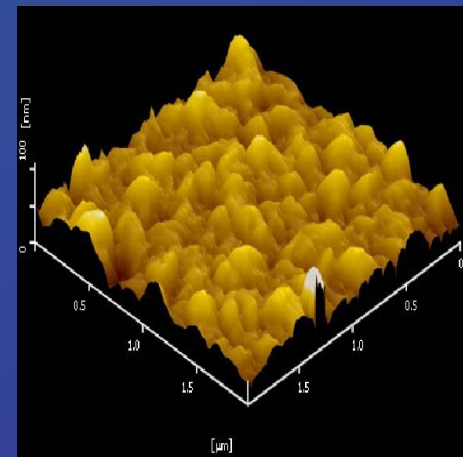
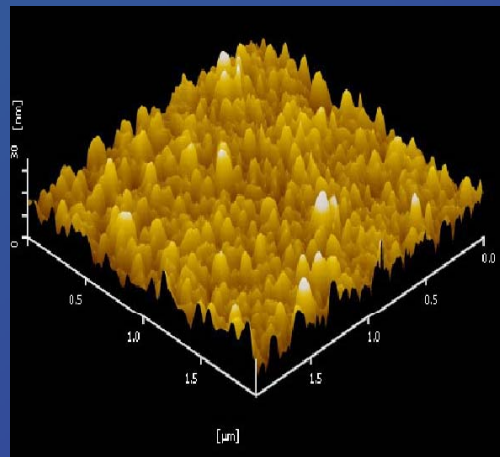
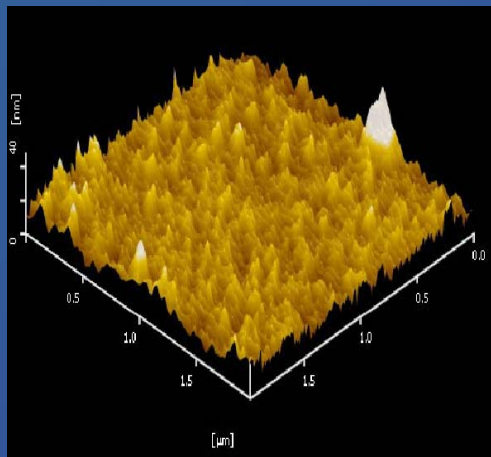
$T_g = 700\text{ °C}$, $x_{Mn} = 6,4\%$



$T_g = 650\text{ °C}$, $x_{Mn} = 6,4\%$



$T_g = 680\text{ °C}$, $x_{Mn} = 2,0\%$

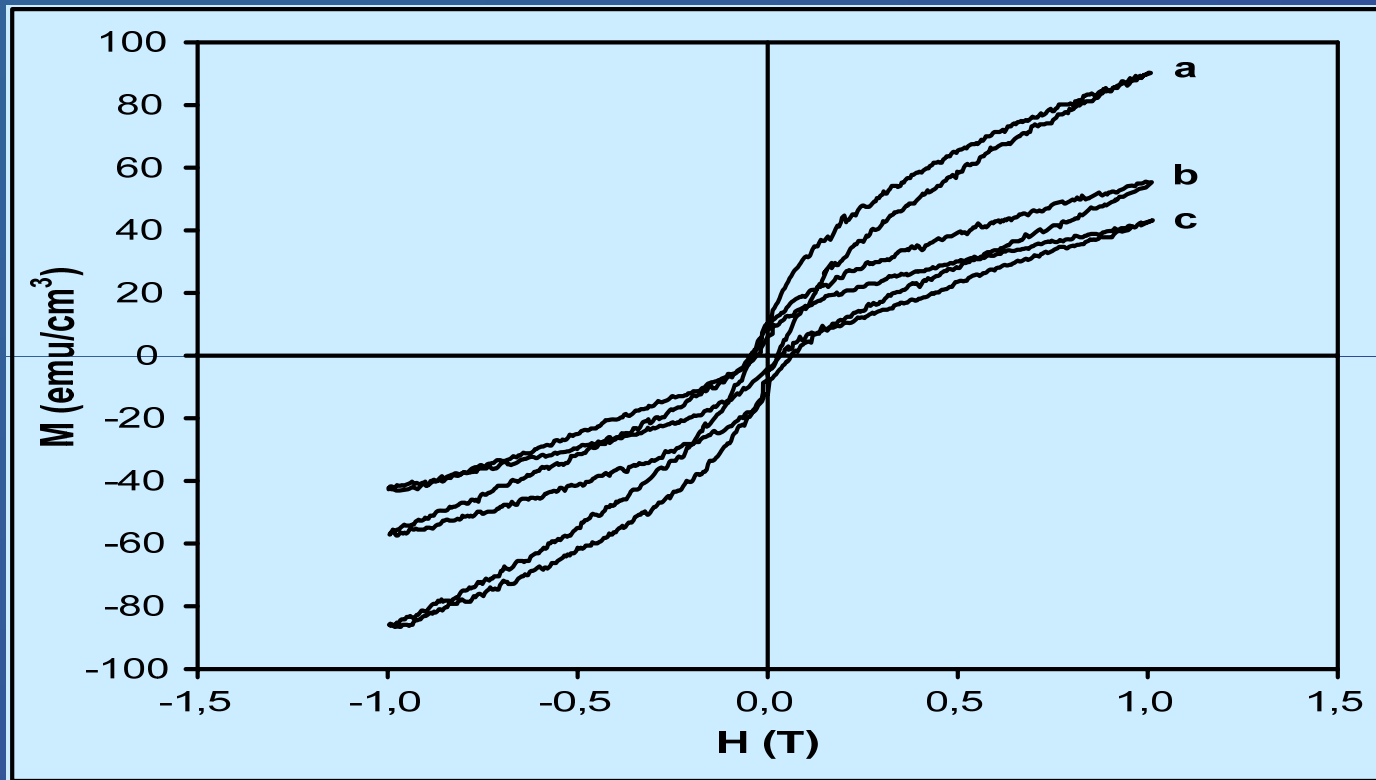


Citra AFM

RMS kekasaran GaN:Mn

No.	Sampel	T _g (°C)	Konsentrasi Mn (%)	RMS kekasaran (nm)
1	#2A	680	2,0	12,93
2	#3.1	700	6,4	12,31
3	#8.1	650	1,6	6,01
4	#10.1	650	6,4	11,53

SIFAT MAGNETIK GaN:Mn



$T_g = 700 \text{ }^\circ\text{C}$ (a) $x_{\text{Mn}} = 2,5\%$ (b) $x_{\text{Mn}} = 3,2\%$ dan (c) $x_{\text{Mn}} = 2,0 \%$.

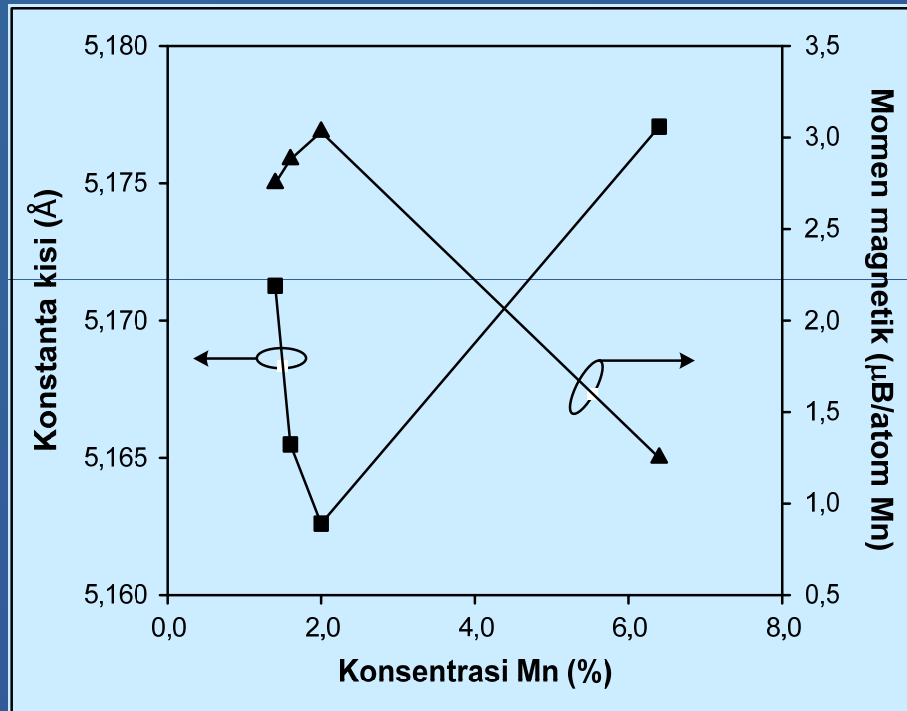
Parameter Magnetik GaN:Mn

T_g (°C)	Konsentrasi Mn (%)	Magnetisasi remanen M_r (Oe/cm ³)	Magnetisasi saturasi M_s (Oe/cm ³)	Koersivitas magnetik H_c (Oe)
650	1,4	10,4	20,0	300
650	1,6	10,2	21,0	500
650	2,0	11,7	22,5	780
650	6,4	12,0	35,0	430
700	2,0	11,5	20,0	700
700	2,5	34,4	39,0	800
700	3,2	18,2	37,0	700

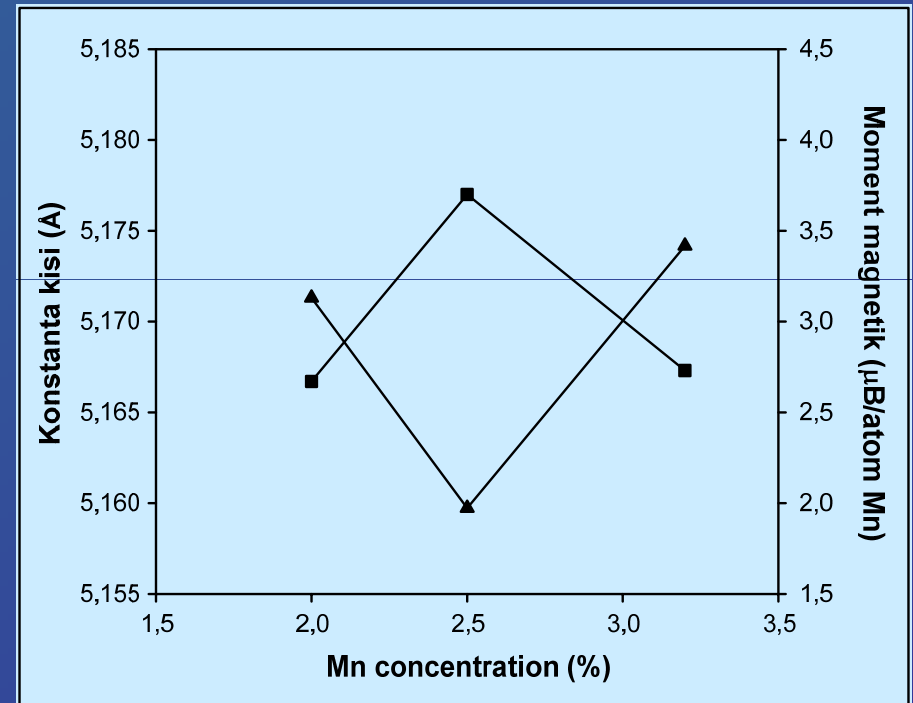
Perbandingan Parameter Magnetik GaN:Mn

x_{Mn} (%)	H_c (Oe)	M_r (emu/cm ³)	M_s (emu/cm ³)	Metode Penumbuhan	Peneliti, tahun
0,014 - 0,064	300 - 800	10,4 - 34,4	20,0 - 39,0	PA-MOCVD	Mulyanti, 2006
0,006 - 0,023	100 - 500	-	< 30,0	MOCVD	Reed, 2003
0,009 - 0,012	265 -1500	-	-	Implantasi ion	Reed, 2003
0,012 - 0,015	-	3 - 5	<11,6	MOCVD	Kane, dkk, 2005

Momen Magnetik & Konstanta Kisi GaN:Mn



GaN:Mn, $T_g = 650 \text{ }^\circ\text{C}$

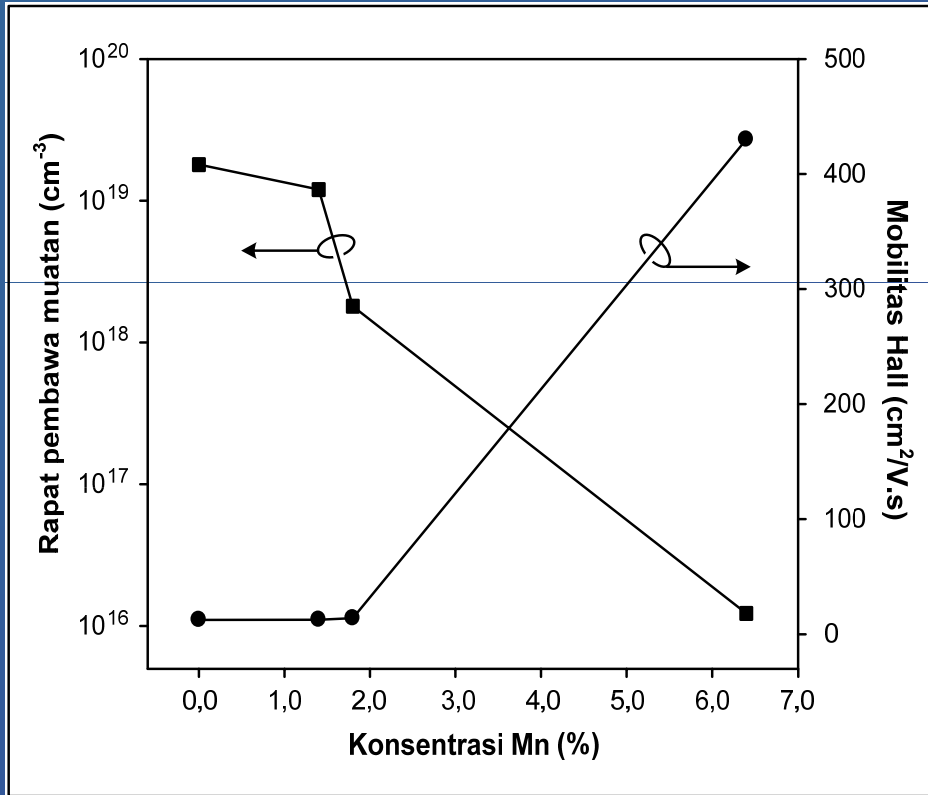


GaN:Mn, $T_g = 700 \text{ }^\circ\text{C}$

Perbandingan Momen Magnetik GaN:Mn

T_g (°C)	x_{Mn} Maksimum (%)	Solubilitas maksimum (%)	Momen magnetik μ_B/Mn	Metode Penumbuhan	Peneliti, tahun
700	3,2	2,5	3,7	PA-MOCVD	Mulyanti, 2006
650	6,5	2,0	3,1		
850 1040	2,3 0,6	1,8 0,6	3,4 1,3	MOCVD	Reed, 2003
800-1100	-	1,5 1,2	1,3 2,9	MOCVD	Kane, dkk, 2005
700	9,0	3,0	3,8	MBE	Thaler, 2004

Parameter Listrik GaN:Mn



$T_g = 650 \text{ }^\circ\text{C}$

PA-MOCVD-GaN:Mn (x=0,02)

→ $n = 1,8 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ [Mulyanti, dkk., 2006]

MBE-GaN:Mn (x=0,07)

→ $n = 2,4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ [Overberg, dkk., 2002]

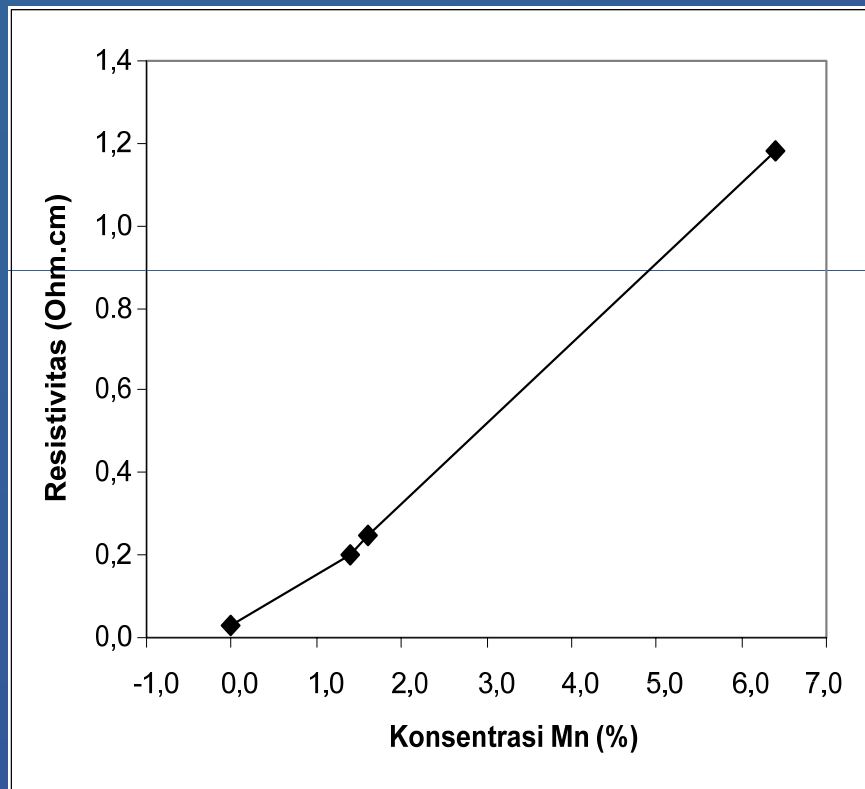
MOCVD-GaN:Mn (x=0,006)

→ $n = 6,0 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ [Reed, dkk., 2003]

MOCVD- GaN:Mn (x=0,015)

→ $n = 6,0 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ [Kane, dkk., 2005]

Resistivitas GaN:Mn



$$T_g = 650 \text{ } ^\circ\text{C}$$

MBE-GaN:Mn ($x=0,07$)

$\rightarrow \rho = 9,5 \text{ } \Omega \text{ cm}$ [Lee, dkk., 2004]

MBE-GaN:Mn ($x=0,03 - 0,07$)

$\rightarrow \rho = 2 - 100 \text{ } \Omega \text{ cm}$ [Polyakov, dkk., 2004]

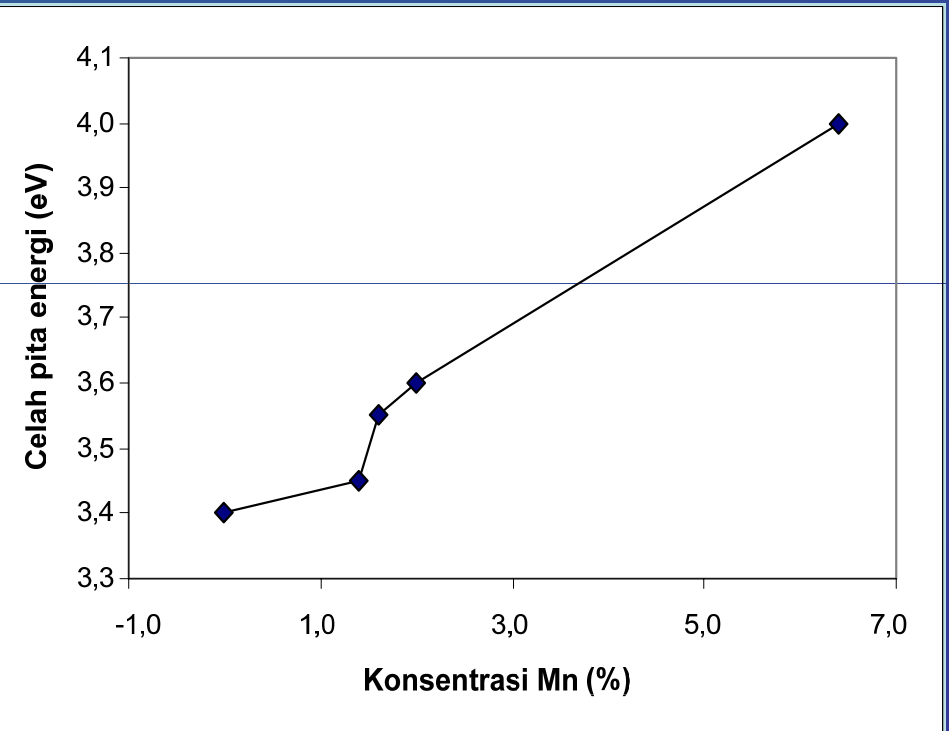
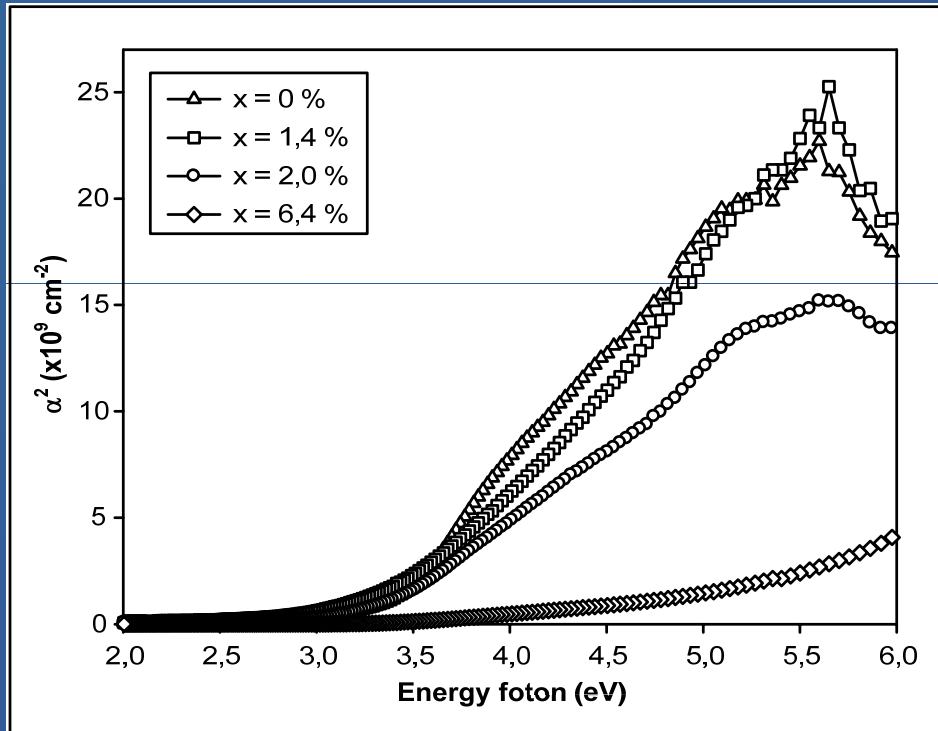
MOCVD-GaN:Mn ($x=0,0018 - 0,006$)

$\rightarrow \rho = 0,073 - 0,107 \text{ } \Omega \text{ cm}$ [Reed, 2003]

MOCVD-GaN:Mn ($x=0,012 - 0,015$)

$\rightarrow \rho > 100 \text{ } \Omega \text{ cm}$ [Kane, dkk., 2005]

SIFAT OPTIK GaN:Mn



**makin besar konsentrasi Mn
→ GaN:Mn akan bersifat semi insulator**
(Albrecht, dkk., 2005, Kane, dkk., 2005b).

KESIMPULAN-1

- 1 Simulasi penumbuhan GaN:Mn dengan metode MOCVD → diperlukan $T_g = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ dan substrat harus diletakkan pada $r_{\text{sus}} = 3,5 - 4,5 \text{ cm}$
- 2 Dengan PA-MOCVD berhasil ditumbuhkan GaN:Mn di atas substrat safir (0001) dengan $T_g = 625 - 700 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 3 Laju penumbuhan dan inkorporasi Mn dalam GaN:Mn bergantung pada T_g , flux V/III dan fraksi molar Mn/Ga
- 4 Konsentrasi Mn maksimum untuk menghasilkan fase tunggal GaN:Mn
 - $[\text{Mn}] = 6,4 \text{ \%}$ untuk $T_g = 650 \text{ }^\circ\text{C}$
 - $[\text{Mn}] = 3,2 \text{ \%}$ untuk $T_g = 700 \text{ }^\circ\text{C}$
- 5 Derajat kekasaran film bergantung T_g dan $[\text{Mn}]$
→ sampel ($T_g = 650 \text{ }^\circ\text{C}$ & $[\text{Mn}] = 1,4 \text{ \%}$) → derajat kekasaran terendah

KESIMPULAN-2

- 6 Pengerutan kisi tertinggi \rightarrow pada $T_g = 650 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow [\text{Mn}] = 2,0 \%$
 \rightarrow pada $T_g = 700 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow [\text{Mn}] = 2,5 \%$
 \rightarrow **BATAS *SOLID-SOLUBILITY***
 \rightarrow Di atas harga-harga tsb. \rightarrow atom-atom Mn tidak lagi mensubstitusi Ga
- 7 **Semua sampel GaN:Mn \rightarrow histeresis pada $T_R \rightarrow$ ferromagnetik, $T_C > T_R$**
- 8 **Batas *solid-solubility*** $\rightarrow T_g = 650 \text{ }^\circ\text{C} \ \& \ [\text{Mn}] = 2,0 \%$ $\rightarrow M = 3,1 \ \mu_B/\text{Mn}$
 $\rightarrow T_g = 700 \text{ }^\circ\text{C} \ \& \ [\text{Mn}] = 2,5 \%$ $\rightarrow M = 3,7 \ \mu_B/\text{Mn}$
- 9 **Semua film tipis GaN:Mn yang ditumbuhkan \rightarrow tipe-*n***
 \rightarrow konsentrasi pembawa turun jika $[\text{Mn}]$ bertambah
 \rightarrow mobilitas pembawa naik jika $[\text{Mn}]$ bertambah
 \rightarrow Harga resistivitas film GaN:Mn bertambah jika $[\text{Mn}]$ bertambah.
- 10 Celah pita energi bertambah jika $[\text{Mn}]$ bertambah.

KONTRIBUSI ILMIAH

- ❖ Dengan metode PA-MOCVD
→ ditumbuhkan film tipis GaN:Mn dengan $T_g = 625 - 700 \text{ }^\circ\text{C}$
(metode MOCVD konvensional, $T_g = 850 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$)
- ❖ Film tipis GaN:Mn memiliki fase tunggal dengan $[\text{Mn}]_{\text{maks}} = 6,4 \%$
(MOCVD konvensional, $[\text{Mn}]_{\text{maks}} = 2,3 \%$).
- ❖ Harga momen magnetik per atom Mn yang dihasilkan $\rightarrow 3,7 \mu\text{B}$
(MOCVD konvensional $\rightarrow 3,4 \mu\text{B}$)
- ❖ Sumber MO untuk doping Mn, yaitu CpMnT belum pernah dilaporkan
 \rightarrow bersifat *volatile* pada T_R \rightarrow bubbler pada T_R

DAFTAR PUBLIKASI (1)

1. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, Z. Jamal, dan U. Hashim dan M. Barmawi (2006): Effect of Temperature and Mn incorporation on The Growth of GaN:Mn Thin Films Using Plasma Assisted MOCVD, *Proceeding ITB* (dalam proses review)
2. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, E. Supriyanto, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, Mujamilah, dan M. Barmawi (2006): N-type Conductivity in Wurtzite Mn-doped GaN Thin Films Grown by Plasma Assisted MOCVD, *Journal of Mathematics and Science* (segera dipublikasikan).
3. **Budi Mulyanti**, Mujamilah, A. Subagio, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, Sukirno, dan M. Barmawi (2006): Sifat Struktur dan Sifat Magnetik Film Tipis GaN:Mn yang ditumbuhkan dengan Plasma Assisted MOCVD, *JUSAMI* (akan dipublikasikan).
4. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi (2005): Effect of V/III Ratio on Mn Incorporation into GaN:Mn Thin Films Deposited by Plasma Assisted MOCVD, *Proc. of The 8th International Conference on Quality in Research (QIR)*, MM11-09
5. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, F. S. Arsyad, P. Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi (2005): Temperature Dependence of Mn Incorporation into GaN:Mn Deposited Using Plasma Assisted MOCVD, *Proc. of Asian Physics Symposium (APS)*, 73-77.
6. F. Suryani, **B. Mulyanti**, A. Supu, P. Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi (2005) The Dependence of Probability Distribution of Electron and Hole Fermi-Dirac Function on Size Fluctuation of GaN Quantum Dot Laser, *Proc. of The 8th International Conference on Quality in Research (QIR)*, OL2-03

DAFTAR PUBLIKASI (2)

6. F.Suryani, **B. Mulyanti**, A. Supu, P. Arifin, M. Budiman, dan M.Barmawi (2005) The Dependence of Probability Distribution of Electron and Hole Fermi-Dirac Function on Size Fluctuation of GaN Quantum Dot Laser, *Proc. of The 8th International Conference on Quality in Research (QIR)*, OL2-03
7. H. Sutanto, A. Subagio, **Budi Mulyanti**, F. S. Arsyad, P.Arifin, M. Budiman, dan M. Barmawi (2005): Influence of the Al concentration on Electrical Properties of AlGa_N Thin Films Grown on Si (111) Substrate by PA MOCVD, *Proc. of Asian Physics Symposium (APS)*, 204-207
8. F.S. Arsyad, **Budi Mulyanti**, H. Sutanto, A. Subagio, H. Saragih, E. Supriyanto, P. Arifin, dan M. Barmawi ((2005): Study of Crystal Structure and Surface Morphology of AlGa_N Thin Film Deposited by PA MOCVD, *Proc. of Asian Physics Symposium (APS)*, 438-441
9. **Budi Mulyanti**, Fitri S. Arsyad, M. Barmawi, Sri Jatno, P.Arifin, and M. Budiman (2004): Effect of Growth Parameters on Deposition Rate of Ga_{1-x}Mn_xN Thin Films Deposited Using Vertical Axisymmetric MOCVD Reactor, *Prosiding Seminar MIPA IV* , 41-44
10. **Budi Mulyanti**, F. S. Arsyad, P.Arifin, M. Budiman, M.Barmawi, dan Sri Jatno W (2004): Depedence of Ga_{1-x}Mn_x Thin Films Growth on Substrate Temperature in Vertical MOCVD Reactor by Numerical Simulation, *Indonesian Journal of Physics*, **15**, 3, 59-63
11. Fitri S. Arsyad, **B. Mulyanti**, M. Budiman, Sri Jatno, P. Arifin, dan M. Barmawi (2004): Pengaruh Geometri QD Kerucut Terhadap Probabilitas Distribusi Energi Transisi Optik, *Prosiding Seminar MIPA IV*, 206-208
12. **Budi Mulyanti**, F.S. Arsyad, Soegianto S, M. Barmawi, dan Sri Jatno (2002): Simulasi Numerik Reaktor MOCVD Dengan Menggunakan FEMLAB, *Kontribusi Fisika Indonesia*, **13**,2, 1-6

PRESENTASI DI SEMINAR DAN KONFERENSI

1. **Budi Mulyanti**, A. Subagio, H. Sutanto, P. Arifin, M. Budiman, , dan M. Barmawi, (2006): Study of Mn Incorporation Into GaN:Mn Magnetic Semiconductor Thin Films Prepared by Plasma Assisted MOCVD, *International Conference on Nanoscience and Nanotechnology, (ICONN)* , Brisbane, 3-7 Juli 2006
2. **Budi Mulyanti**, Fitri S. Arsyad, M. Barmawi, Sri Jatno, P. Arifin, and M. Budiman (2003): Simulation of Ga_{1-x}Mn_xN Growth in the MOCVD Reactor, *The Annual Physics Seminar*, Bandung
3. Fitri S. Arsyad, **B. Mulyanti**, M. Budiman, Sri Jatno, P. Arifin, and M. Barmawi (2003): Analysis of Bias Effect to Electrical Properties of GaN Quantum Dots Based Laser Diode Using FEMLAB, *The Annual Physics Seminar*, Bandung
4. Fitri S. Arsyad, **B. Mulyanti**, M. Budiman, Sri Jatno, P. Arifin, dan M. Barmawi (2004): Effect of Shape and Size Fluctuation on Inhomogeneous Line of Broadening to GaN QD Based Laser, *The Annual Physics Seminar*, Bandung
5. **Budi Mulyanti**, Fitri S. Arsyad, H. Saragih, M. Barmawi, Sri Jatno, P. Arifin, and M. Budiman (2004): Effect of Growth Temperature on TiO₂ Deposited Using MOCVD, *The Annual Physics Seminar*, Bandung