

รายการอ้างอิง

- 1 Bhattacharya, P. **Semiconductor optoelectronic devices**. U.S.A. : Prentice-Hall, 1994.
- 2 Singh, J. **Physics of semiconductors and their heterostructures**. Singapore : Mcgraw-Hill, 1993.
- 3 Larsson, A., Andrekson, P. A., Eng, S. T., and Yariv, A. Tunable superlattice p-i-n photodetectors : Characteristics, theory, and applications. **IEEE J. of Quantum Electronics** Vol. 24, No. 5 (May 1988) : 787-801.
- 4 Nagai, Y., Shigihara, K., Karakida, S., Kakimoto, S., Otsubo, M., and Ikeda, K. Characteristics of laser diodes with a partially intermixed GaAs-AlGaAs quantum well. **IEEE J. of Quantum Electronics** Vol. 31 (1995) : 1364-1370.
- 5 Lutz, C. R., Jr., Agahi, F., and Lau, K. M. Resonant tunneling injection quantum-well lasers. **IEEE Photonics Technology Letters** Vol. 7 (1995) : 596-598.
- 6 Roberts, D. A., et al. GaAs/AlGaAs multiple quantum well pin diodes grown by selective area epitaxy. **Electronics Letters** Vol. 24 (1988) : 896-898.
- 7 David, J. P. R., et al. Avalanche multiplication and breakdown in GaAs/AlGaAs MQW pin structures. **IEE Colloquium on "Optical Detectors and Receivers"** Digest No. 1993/223 : 4/1-4.
- 8 Tsai, K. L., Chang, K. H., Lee, C. P., Huang, K. F., Tsang, J. S., and Chen, H. R. Two-color infrared photodetector using GaAs/AlGaAs and strained InGaAs/AlGaAs multiquantum wells. **Appl. Phys. Lett.** Vol. 62, No. 26 (June 1993) : 3504-3506.
- 9 Tsai, K. L., Lee C. P., Tsang, J. S., and Chen, H. R. Two-colour quantum well infra-red photodetector with peak sensitivities at 3.9 and 8.1 μm . **Electronics letters** Vol. 30, No. 16 (August 1994) : 1352-1353.
- 10 Tsai, K. L., Lee, C. P., Tsang, J. S., Chen, H. R., and Chang, K. H. Two-dimensional bi-periodic grating coupled one- and two-color quantum well infrared photodetectors. **IEEE Electron device letters** Vol. 16 No. 2 (February 1995) : 49-51.

- 11 Zussman, A., Levine, B. F., Hong, M., and Mannaerts, J. P. GaAs/Al_xGa_{1-x}As quantum well infra-red photodetectors with cutoff wavelength $\lambda_c = 14.9 \mu m$. **Electronics Letters** Vol. 27, No. 17 (August 1991) : 1512-1513.
- 12 Kheng, K., Ramsteiner, M., Schneider, H., Ralston, J. D., Fuchs, F., and Koidl, P. Two-color GaAs/(AlGa)As quantum well infrared detector with voltage-tunable spectral sensitivity at 3-5 and 8-12 μm . **Appl. Phys. Lett.** Vol. 61, No. 6 (August 1992) : 666- 668.
- 13 Goossen, K. W., Santos, M. B., Cunningham, J. E., and Jan, W. Y. Independence of absorption coefficient-linewidth product to material system for multiple quantum wells with excitons from 850 to 1064 nm. **IEEE Photonics Technology Letters** Vol. 5, No. 12 (December 1993) : 1392-1394.
- 14 Gerber, D. S., and Maracas, G. N. A simple method for extraction of multiple quantum well absorption coefficient from reflectance and transmittance measurement. **IEEE J. of Quantum Electronics** Vol. 29, No. 10 (October 1993) : 2589-2595.
- 15 สุวัฒน์ โสภิตพันธ์, สมชัย รัตนธรรมพันธ์ และ สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. โฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ แกลเลียมอาร์เซไนด์/แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ .การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 17 (2537) : 504-508.
- 16 สุวัฒน์ โสภิตพันธ์ และคนอื่นๆ. โฟโตลูมิเนสเซนซ์ของมัลติควันตัมเวลล์ชนิดแกลเลียม-อาร์เซไนด์/แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ที่มีความหนาของเวลล์ที่แปรเปลี่ยนได้. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18 (2538) : 566-571.
- 17 Sale, T. E. **Vertical cavity surface emitting lasers**. Great Britain : Research studies press Ltd., 1995.
- 18 RIBER/INSTRUMENTS SA GROUP. **MBE 32 operator's guide : Instruction manual. N 608 350 22G.**
- 19 Griffiths, D. J. **Introduction to Quantum Mechanics**. U.S.A. : Prentice-Hall, 1995.
- 20 Weisbuch, C., and Vinter, B. **Quantum semiconductor structures : Fundamentals and applications**. U.S.A. : Academic Press, 1991.
- 21 Shur, M. **Physics of semiconductor Devices**. U.S.A. : Prentice-Hall, 1990.
- 22 Adachi, S. **Properties of Aluminium Gallium Arsenide**. United Kingdom : INSPEC, the Institution of Electrical Engineers, 1993.

- 23 Singh, J. **Semiconductor optoelectronics : physics and technology**. Singapore : McGraw-Hill, 1995.
- 24 Green, M. A. **Solar cells : Operatating principles, technology and system applications**. Australia : Bridge Printery Pty Ltd., 1986.
- 25 Miller, D. A. B., Chemla, D. S., Eilenberger, D. J., Smith, P. W., Gossard, A. C., and Tsang, W. T. Large room-temperature optical nonlinearity in GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs multiple quantum well structures. **Appl. Phys. Lett.** Vol. 41, No. 8 (October 1982) : 679-681.
- 26 คุณิต เครื่องงาม. โพลิตสเททฟิสิกส์. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2535.
- 27 Singh, J., Hong, S., Bhattacharya, P. K., Sahai, R., Lastufka, C., and Sobel, H. R. System requirements and feasibility studies for optical modulators based on GaAs/AlGaAs multiquantum well structures for optical processing. **J. of Lightwave Technology** Vol. 6, No. 6 (June 1988) : 818-831.
- 28 Chemla, D. S., Damen, T.C., Miller, D. A. B., Gossard, A. C., and Wiegmann, W. Electroabsorption by stark effect on room-temperature excitons in GaAs/GaAlAs multiple quantum well structures. **Appl. Phys. Lett.** Vol. 42, No. 10 (May 1983) : 864-866.
- 29 Lai, K., and Campbell, J. C. Design of a tunable GaAs/AlGaAs multiple-quantum-well resonant-cavity photodetector. **IEEE J. of Quantum Electronics** Vol. 30, No. 1 (January 1994) : 108-114.
- 30 Brandt, S. , and Dahmen, H. D. **Quantum mechanics on the personal computer**. 3rd ed. Germany : Springer-Verlag, 1994.
- 31 Sugimoto, K., Nakajima, K. , and Mizushima, Y. Band-edge-emphasizing photodetector response. **IEEE Transactions on Electron Devices** Vol. 37, No. 11 (November 1990) : 2298-2302.
- 32 Gupta, S., Bhattacharya, P. K., Pamulapati, J., and Mourou, G. Optical properties of high-quality InGaAs/InAlAs multiple quantum wells. **J. Appl. Phys.** Vol. 69, No. 5 (March 1991) : 3219-3225.
- 33 Streetman, B. G. **Solid state electronic devices**. 3rd ed. U.S.A.. : Prentice-Hall, 1990.

- 34 Lee, H. C., Kost, A., Kawase, M., Hariz, A., Dapkus, P. D., and Garmire, E. M. Nonlinear absorption properties of AlGaAs/GaAs multiple quantum wells grown by metalorganic chemical vapor deposition. **IEEE J. of Quantum Electronics** Vol. 24, No. 8 (August 1988) : 1581-1592.
- 35 Burm, J., et al. High-frequency, high-efficiency MSM photodetectors. **IEEE J. of Quantum Electronics** Vol. 31, No. 8 (August 1995) : 1504-1509.
- 36 Aboudou, A., et al. Ultralow dark current GaAlAs/GaAs MSM photodetector. **Electronics Letters** Vol. 27, No. 10 (May 1991) : 793-795.
- 37 Zirngibl, M., Bischoff, J. C., Theron, D., and Ilegems, M. A superlattice GaAs/InGaAs-on-GaAs photodetector for 1.3 - μm applications. **IEEE Electron Device Letters** Vol. 10, No. 7 (July 1989) : 336-338.
- 38 Sopitpan, S., Manmontri, U., Cheewatas, P., Thainoi, S., Rattanathamphan, S., and Panyakeow, S. Study on GaAs/GaAlAs MQW structure for photovoltaic applications. **Technical Digest of the International PVSEC-9** (November 1996).
- 39 Manmontri, U., Sopitpan, S., Cheewatas, P., Thainoi, S., Rattanathamphan, S., and Panyakeow, S. Study on GaAs/GaAlAs MQW structure for photovoltaic applications. **Solar Energy Materials and Solar Cells** Vol. 50 (1998) : 265-272.

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

- 1 Sopotpan, S., **Manmontri, U.**, Cheewatas, P., Thainoi, S., Rattanathammaphan, S., and Panyakeow, S. Study on GaAs/GaAlAs MQW structure for photovoltaic applications. **9th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-9)**, Miyazaki, Japan. (11-15 November 1996).
- 2 **Manmontri, U.**, Sroymadee, N., Thainoi, S., Sopotpan, S., Rattanathammaphan, S., Antarasena, C., and Panyakeow, S. Spectral response of GaAs/AlGaAs and InGaAs/GaAs multiquantum well structures. **Second Asean Renewable Energy Conference**, Phuket, Thailand. (5-9 November 1997).
- 3 **Manmontri, U.**, Sopotpan, S., Cheewatas, P., Thainoi, S., Rattanathammaphan, S., and Panyakeow, S. Study on GaAs/GaAlAs MQW structure for photovoltaic applications. **Solar Energy Materials and Solar Cells** Vol. 50 (1998).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทำความสะอาดแผ่นฐานแกเลียมอาร์เซไนด์

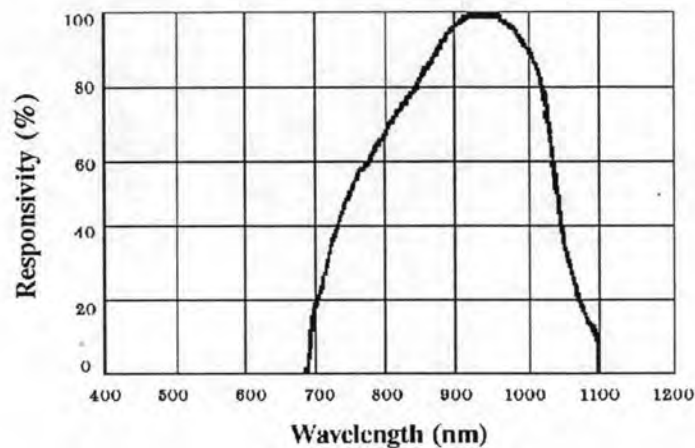
ก่อนที่แผ่นฐานแกเลียมอาร์เซไนด์จะถูกนำมาใช้เพื่อการปลูกผลึก จะต้องล้างทำความสะอาดแผ่นฐานเพื่อกำจัดฝุ่นและไขมัน โดยมีขั้นตอนการทำความสะอาดที่ใช้สารเคมี และน้ำปราศจากอ็อกซิเจน (DI water) ดังนี้ คือ

- 1 Ethilene Tricloro เดือด 5 นาที
- 2 Acetone เดือด 5 นาที
- 3 Methyl Alcohol เดือด 5 นาที
- 4 ล้างด้วยน้ำปราศจากอ็อกซิเจนปริมาณมากๆ และเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

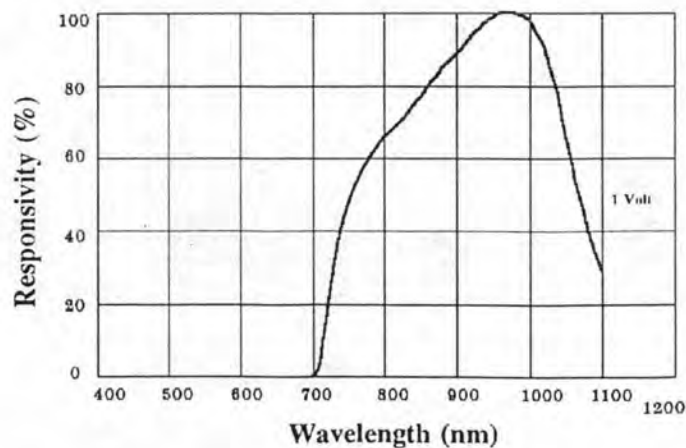
ภาคผนวก ข

ผลตอบสนองต่อแสงของฟิโนโตไดโอดมาตรฐานรุ่น PH302

ฟิโนโตไดโอดมาตรฐาน PH302 ซึ่งมีผลตอบสนองต่อแสง และคุณสมบัติเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ ข1 และตารางที่ ข1 ตามลำดับ ถูกนำมาทำการวัดผลตอบสนองต่อแสงโดยใช้ระบบการวัดผลตอบสนองต่อแสงแบบที่ 1 เพื่อใช้ตรวจสอบระบบการวัด พบว่าผลตอบสนองต่อแสงที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ ข2



รูปที่ ข1 ผลตอบสนองต่อแสงของฟิโนโตไดโอด PH302



รูปที่ ข2 ผลตอบสนองต่อแสงของฟิโนโตไดโอด PH302 โดยใช้ระบบการวัดแบบที่ 1

ตารางที่ ข1 คุณสมบัติเฉพาะของฟิโนโตไดโอดมาตรฐาน PH302

แรงดันไบแอสย้อนสูงสุด	32 Volt
ความยาวคลื่นที่ตอบสนองต่อแสงสูงสุด (λ_{max})	940 nm

ภาคผนวก ค

การคำนวณระดับพลังงานควันไตซ์จาก finite square well

การคำนวณระดับพลังงานควันไตซ์ $E_1 - E_{hh1}$ ของโครงสร้าง GaAs/Al_{0.55}Ga_{0.45}As MQW ที่เตรียมขึ้นจากเครื่อง MBE รุ่น 32P ของบริษัท RIBER ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งมีความกว้างของชั้นเวลล์ประมาณ 12 Å ทำได้โดยการพิจารณาจากเงื่อนไขขอบเขตและความต่อเนื่องที่บริเวณขอบของบ่อพลังงานแบบ finite square well และสมการที่ (3.16), (3.18) และ (3.19) ทำให้ได้สมการสำหรับการคำนวณค่าระดับควันไตซ์ที่เป็นเลขคี่ คือ

$$\tan z = \sqrt{\left(\frac{z_0}{z}\right)^2 - 1} \quad (\text{ค-1})$$

เมื่อ $z = \ell a$ และ $z_0 = \frac{a}{\hbar} \sqrt{2mV_0}$ ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ $\frac{\Delta E_c}{\Delta E_v} = \frac{60}{40}$ และ $E_{g,Al_{0.55}Ga_{0.45}As} - E_{g,GaAs} = 2.012 - 1.424 = 0.588 \text{ eV}$ จะได้

$$\Delta E_c = 0.6 \times 0.588 \text{ eV} = 0.3528 \text{ eV} = 5.651856 \times 10^{-20} \text{ J} \quad (\text{ค-2})$$

$$\Delta E_v = 0.4 \times 0.588 \text{ eV} = 0.2352 \text{ eV} = 3.767904 \times 10^{-20} \text{ J} \quad (\text{ค-3})$$

และเมื่อแทนค่าสมการที่ (ค-2) และ (ค-3) จะได้ค่า z_0 สำหรับการคำนวณค่าระดับพลังงานควันไตซ์ E_1 และ E_{hh1} คือ 0.4580 และ 1.0536 ตามลำดับ จากนั้นแทนค่า z_0 ที่ได้ลงในสมการที่ (ค-1) จะได้ค่า z และ ℓ ตามลำดับ เมื่อ $a = 12 \times 10^{-10} \text{ m}$ ดังนั้นจึงได้ค่าระดับพลังงาน $E_1 = 4.71794 \times 10^{-20} \text{ J} = 0.294 \text{ eV}$ และ $E_{hh1} = 1.97131 \times 10^{-20} \text{ J} = 0.123 \text{ eV}$ และ

$$\begin{aligned} E_{g,GaAs} + E_1 + E_{hh1} &= 1.424 + 0.294 + 0.123 \text{ eV} \\ &= 1.841 \text{ eV} \end{aligned} \quad (\text{ค-4})$$

ในการเปลี่ยนระดับผ่านพลังงานค่าดังกล่าวจึงต้องใช้โฟตอนที่มีค่าความยาวคลื่นเท่ากับ

$$\frac{1.24}{1.841 \text{ eV}} = 673.5 \text{ nm}$$

ประวัติผู้เขียน

นาย อรรถชัย แมนมนตรี เกิดวันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2518 ที่อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539