

광대역 광매개증폭을 위한 위상정합조건의 최적설계선택에 대한 연구

A Study on the Selection of Proper Design in Phase-matching Configuration for Broadband Optical Parametric Amplification

이동원*, 이성구, 최진, 이신욱, 공홍진
한국과학기술원 물리학과
blood1717@hanmail.net*

근래 고출력의 극초단 레이저광원은 물리학 뿐만 아니라 여러 기초과학 및 공학 연구에 핵심적으로 활용되고 있으며, 그 요구도 또한 점차적으로 높아지는 추세이다.⁽¹⁻⁴⁾ 극초단 펄스의 고출력 증폭에는 펄스처핑증폭(chirped pulse amplification, CPA) 방식의 적용이 일반적이며, 기존의 재생증폭계에서 발생하는 증폭된 자발방출(amplified spontaneous emission, ASE) 등의 여러 가지 잡음요인(noise)과 스펙트럼 성분을 소실시켜 펄스폭을 늘이는 이득대역감소(gain narrowing) 같은 효과를 줄이기 위해 재생증폭 방식 대신 광매개증폭(optical parametric amplification, OPA) 방식을 펄스처핑증폭과 함께 적용한 기술이 펄스처핑-광매개증폭(optical parametric chirped pulse amplification, OPCPA)이다.⁽⁵⁾ 국내외의 많은 연구진들에 의해 펄스처핑-광매개증폭을 이용한 극초단 레이저광의 증폭연구들이 활발히 진행되고 있다.⁽⁶⁻¹⁰⁾

펄스처핑-광매개증폭의 중요한 한 가지 기반기술로 광대역 광매개증폭계를 들 수 있는데, 이는 신호광인 극초단 레이저광의 넓은 파장대역에 대해 고른 이득을 주기위해 필수적이다. 광대역 광매개증폭에서는 이로 인해 광매개증폭에 중요한 위상정합조건(phase-matching configuration)의 선택 및 적용에 어려움이 있다. 일반적인 고출력 레이저광의 파장변환이나 고차조화파 발생 등에 적용되는 광매개증폭계 설계는 공선형 위상정합방식(collinear phase-matching configuration)을 이용하는데 비해, 광대역 광매개증폭계는 극초단 레이저 신호광의 넓은 스펙트럼성분들을 균일하게 증폭해야 하므로 비공선형(noncollinear) 위상정합방식의 광매개증폭계 설계를 이용해야 한다. 비공선형 위상정합방식의 광매개증폭계는 설계 시, 공선형 위상정합방식에 비해 고려해야 할 추가변수가 있으며, 그 결과 많은 량의 설계 자료들에 대한 처리가 부가적으로 필요하게 된다. 또한 비공선형 위상정합방식의 광매개증폭계는 설계 변수들간의 결합조건의 변화에 대해 이득특성곡선(gain-profile)의 변화양상이 복잡하므로 주의 깊은 설계와 선택이 요구된다.⁽¹⁰⁾

본 연구는 이러한 배경 하에 광대역 광매개증폭계 설계 시, 근본적인 문제점으로 내재된 최적설계의 문제와 방대한 량의 설계자료에 대한 효율적인 처리에 대해 논하고 이를 새로운 이득지수(figure of merit)인 이득-변형인자(gain-distortion parameter)의 도입을 통해 해결하고자 하였다.

이를 위해 본 연구는 광대역 광매개증폭계 설계 시 중요한 고려사항 및 문제점들이 이득-변형인자를 적용하여 해결될 수 있음을 BBO에서의 type I 비공선형 광대역 광매개증폭계의 수치전산모사를 통해 보이고 있다. 전산모사에 이용된 상수들은 다음의 값을 가지는 것으로 설정하였다 ; 펌프광의 파장 $\lambda_s = 532\text{nm}$ (frequency doubled Nd:YAG laser), 신호광의 중심파장 $\lambda_s = 780\text{nm}$, 신호광의 스펙트럼 $\Delta\lambda = 12\text{nm}$, 펌프광의 세기 $I_p = 400\text{MW/cm}^2$, BBO 결정의 길이 $L = 15\text{mm}$.⁽¹⁰⁻¹⁴⁾



참고문헌

1. M. Tabak, J. Hammer, M.E. Glinsky, W.L. Kruer, S.C. Wilks, E.M. Campbell, M.D. Perry, and R.J. Mason, "Ignition and high gain with ultrapowerful laser", *Phys. Plasmas*, **1**, 1626 (1994).
2. D. Reidel, J.L. Hernandez-Pozos, R.E. Palmer, S. Baggott, K.W. Kolasinski, and J.S. Foord, "Tunable pulsed vacuum ultraviolet light source for surface science and materials spectroscopy based on high order harmonic generation", *Rev. Sci. Instrum.*, **72**, 1977 (2001).
3. A.H. Zewail, "Femtochemistry: Atomic-Scale Dynamics of the Chemical Bond", *J. Phys. Chem. A*, **104**, 5660 (2000).
4. M.D. Perry, B.C. Stuart, P.S. Banks, M.D. Feit, V. Yanovsky, and A.M. Rubenchik, "Ultrashort-pulse laser machining of dielectric materials", *J. Appl. Phys.*, **85**, 6803 (1994).
5. A. Dubietis, G. Jonušauskas, and A. Diskarskas, "Powerful femtosecond pulse generation by chirped and stretched pulse parametric amplification in BBO crystal", *Opt. Commun.*, **88**, 437 (1992).
6. I.N. Ross, P. Matousek, M. Tourie, A.J. Langley, and J.L. Collier, "The prospects for ultrashort pulse duration and ultrahigh intensity using optical parametric chirped pulse amplifiers", *Opt. Commun.*, **144**, 125 (1992).
7. J. Collier, C. Hernandez-Gomez, I.N. Ross, P. Matousek, C.N. Danson, and J. Walczak, "Evaluation of an ultrabroadband high-gain amplification technique for chirped pulse amplification facilities", *Appl. Opt.*, **38**, 7486 (1999)
8. H. Yosida, E. Ishii, R. Kodama, H. Fujita, Y. Kitagawa, Y. Izawa, and T. Yamanaka, "High-power and high-contrast optical parametric chirped pulse amplification in β -BaB₂O₄ crystal", *Opt. Lett.*, **28**, 257 (2003)
9. X. Yang, Z. Xu, Z. Zhang, Y. Leng, J. Peng, J. Wang, S. Jin, W. Zhang, and R. Li, "Dependence of spectrum on pump-signal angle in BBO-I noncollinear optical-parametric chirped-pulse amplification", *Appl. Phys. B*, **73**, 219 (2001).
10. Y. Cha, K. Lee, S. Nam, B. Yoo, and Y. Rhee, "Optical Parametric Chirped-pulse Amplification of Femtosecond Ti:Sapphire Laser Pulses by Using a BBO Crystal", *JOSK*, **3**, 139 (2003).
11. E. Hecht, *Optics 4th ed.* (Addison-Wesley, 2002), pp.339.
12. A. Yariv and P. Yeh, *Optical Waves in Crystals 2nd ed.* (Addison-Wesley, 2003), pp.87.
13. V.G. Dmitriev, G.G. Gurzadyan, D.N. Nikogosyan, *Handbook of Nonlinear Optical Crystals* (Springer, 1997), pp.7.
14. R.L. Sutherland, *Handbook of Nonlinear Optics* (Marcel-Decker, 1996), pp.119.