

The study of the gain characteristics of $L^{-1}_{2,3} \rightarrow M^{-1}_1$ inner-shell transitions for the development of femtosecond X-ray laser in water window (2.4 - 4.4 nm) spectrum region

손상현, 김동연
포항공과 대학교 물리학과
shany@postech.ac.kr

자연계의 빠른 dynamics들을 원자 수준의 해상도를 가지고 관찰하기 위해 극초단 (ps 또는 그 이하) coherent x-ray가 요구 되어 왔으며, Atomic Inner-shell transition을 이용한 연구들이 진행중이다.

최근에 D. Kim *et al.*은 electron-impact ionization만에 의한 점유밀도 반전을 제시하였는데⁽¹⁾, $Z > 20$ 인 Atom에서 레이징 작용의 아래 준위인 M_1 vacancy state가 Coster-Kronig decay에 의해서 매우 빨리 소멸되는 것을 이용하고 있다. 본 연구는 위 결과의 연장선으로써 더 좋은 lasing을 만들기 위하여 Inner-shell photoionization (ISPI) x-ray scheme으로 Ca, Ti, Cr의 원소에 대해서 $L_{2,3} \rightarrow M_1$ transitions의 Gain의 특성을 계산하였다. Single vacancy state들의 population을 구하기 위해 각 state들의 Radiative decay channel과 double vacancy states와의 Auger and Coster-Kronig decay rate, photo-, e-coll. ionization등을 고려 하였다. 특히, 레이징 작용의 상위 준위로의 높은 photoionization cross section은 큰 점유밀도 반전에 꼭 필요한 요소 이다(그림 1). 실제 Gain 값은 $Gain_{eff} = Gain_{inv} - \mu_{AB}$ 식으로 주어 진다. 여기서, $Gain_{inv}$ 은 점유밀도 반전에 의한 Gain을, μ_{AB} 은 $A \rightarrow B$ transition의

neutral에 의한 흡수도를 나타낸다.

ISPI pumping source로 Gaussian pulse모양의 단색광과 black-body source를 선택하였으며, 이 pulse의 FWHM은 10fs에서 50fs까지 변화시키며 계산하였다.

그림 2는 두 가지 photo pumping scheme에서의 Gain의 maximum 값을 원소별로 비교 하였다. Atomic number가 증가 함에 따라 Gain값은 작아 지는 것을 관찰할 수 있다. 특히 Ca의 경우가 높은 gain 값을 볼 수 있었다. Ca의 경우 큰 gain cross-section로 인하여 큰 $Gain_{inv}$ 값이 얻어졌으며, 상대적으로 작은 μ_{AB} 로 인해 $Gain_{eff}$ 값이 크게 나왔다. 또한, 레이징 작용의 상위 준위의 life time도 다른 두 Atom보다 길어서 더 오랜 시간동안

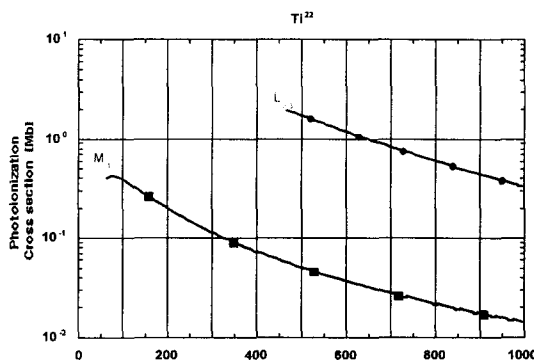


그림 1. Ground에서 레이징 작용이 일어나는 준위로의 Photoionization Cross-section.

$Gain_{eff}$ 가 관측되었다(표 1참조). 그림 3에서 black-body source에 대해서 Ca의 Gain의 시간 profile들을

나타 내었다.

참고문헌

1. D. Kim, C. Toth, and C. P. J. Barty, "Population Inversion Between Atomic Inner-shell Vacancy States Created by Electron-impact Ionization and Coster-Kronig Decay", accepted Phys. Rev. A. Rep. Comm., June (1999).
2. G. A. Mourou, C. P. J. Barty and M. D. Perry, Physics Today 22, Jan. (1998).
3. M. D. Perry and G. Mourou, Science 264, 917 (1994).
4. K. Yamakawa, M. Aoyama, S. Matsuoka, and H. Takuma, Opt. Lett. 23(7), 525 April 1(1998).

표 1 $L_{2,3} \rightarrow M_1$ transition의 Decay rates 과 Gain cross-sections

Atom	Z = 20	Z = 22	Z=24
Name	Ca	Ti	Cr
Wavelength(Å)	40.6	35.2	30.9
$L_{2,3}$'s Decay rate(fsec ⁻¹)	0.29	0.37	0.51
M_1 's Decay rate(fsec ⁻¹)	1.25	4.95	7.50
$L_{2,3} \rightarrow M_1$ Radiative rate(fsec ⁻¹)	7.26×10^{-3}	1.24×10^{-4}	1.84×10^{-4}
Asorption(Mb)	0.38	0.33	0.30
σ_{gain} (Mb)	1.31	0.35	0.23

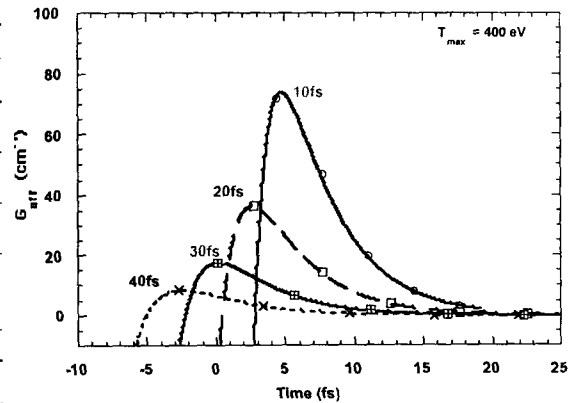


그림 3. The temporal profile of the effective gain at Ca. T=0 is the time when black-body temperature reaches it maximum(400 eV).

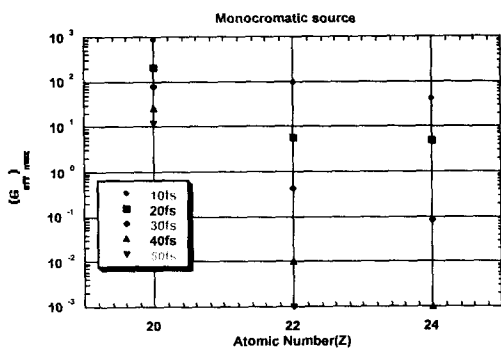


그림 2-1. The change of gain of the lasing transition with respect to elements and FWHM. Total photon density = 1.4×10^{18} photons/cm⁻¹.

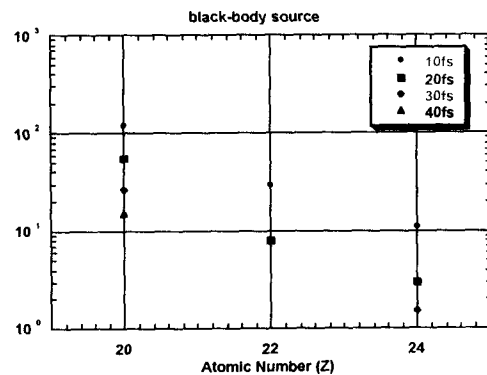


그림 2-2. Maximum temperature is 500 eV.

