

ATOMSKA I MOLEKULARNA SPEKTROSKOPIJA S DIODNIM LASERIMA

Damir Veža

Institut za fiziku, Bijenička 46, Zagreb

Sažetak: Prikazan je princip rada spektrometra s laserskim diodama, kao i mogućnosti njegove upotrebe u temeljnoj i primijenjenoj spektroskopiji atoma i molekula.

1. Uvod

Razvoj lasera s mogućnošću podešavanja valne duljine zračenja (engl.: tunable laser), povezan s razvojem novih spektroskopskih laserskih tehnika odlučujuće je utjecao na razvoj optičke spektroskopije u posljednja dva desetljeća. Do nedavno je termin "laser s mogućnošću podešavanja valne duljine zračenja" bio isključivi sinonim za laser koji radi na organskim bojama (engl.: dye laser). Tokom posljednjih dvadesetak godina veliki napredak u kontroli frekvencije takvog lasera ostvaren je vrlo sofisticiranim opto-elektroničkim rješenjima, pa suvremeni laser koji radi na organskim bojama ima širinu linije ("frequency bandwidth") od cca 500 kHz i mogućnost neprekidnog mijenjanja valne duljine zračenja u dijapazonu od nekoliko desetaka GHz [1]. Paralelno s brzim razvojem lasera u kojim je radni medij bio plin ili tekućina, još od ranih '70 tekla su istraživanja i razvoj poluvodičkih diodnih lasera za potrebe komunikacija. Nagli rast istraživanja u ovom području počeo je kad je uspjelo napraviti kvalitetna optička vlakna koja su imala maksimum propuštanja oko 1.3 μm do 1.55 μm - područjima rada prvih poluvodičkih diodnih lasera. S vremenom se primjena poluvodičkih lasera proširila i na audio komponente (CD playere) prisiljavajući istraživače na razvoj laserskih dioda koje rade na sve manjim valnim duljinama.

Slika 1. Fotografija laserske diode

Prve laserske diode koje rade u optičkom dijapazonu oko $0.78 - 0.85 \mu\text{m}$ pojavile su se prije petnaestak godina i vrlo brzo našle veliku upotrebu u spektroskopiji. Tokom ovog desetljeća one su imale izuzetan utjecaj na daljnji razvoj laserske spektroskopije, kako temeljne tako i primijenjene.

Slika 2. Skica kućišta laserske diode (preuzeto iz J.Lawrenz, *Dissertation* (Dortmund 1988), str. 29.)

2. *Tehnički aspekti upotrebe poluvodičkih*

diodnih lasera u spektroskopiji

Osnovni koncept koji stoji u pozadini poluvodičkog diodnog lasera dan je njegovim imenom: to je poluvodički čip s internom strukturom koja čini da se ponaša kao električna dioda, a s optičkog aspekta to je minijaturni laser koji daje koherentno i monokromatsko lasersko zračenje. Valnu duljinu zračenja laserske diode moguće je podesiti ugađanjem temperature diode i struje kroz diodu [2]. Da bi se to postiglo laserska dioda mora biti u dobrom termičkom kontaktu sa svojim nosačem, bakrenom pločicom (vidi Sl. 2) čija je temperatura precizno regulirana termoelektričnim (Peltier) modulom. U bakrenoj pločici osim laserske diode nalazi se i temperaturni senzor koji daje povratnu informaciju regulacionoj elektronici o promjenama temperature. Termoelektrični modul s druge je strane u dobrom kontaktu s vodom hlađenim blokom koji određuje referentnu (stalnu) temperaturu potrebnu za njegov korektan rad. Svjetlost koju zrači laserska dioda kolimira se objektivom malog fokusa i velike numeričke aperture ($NA = 0.5$) zbog toga što laserska dioda zrači u veliki prostorni kut, pa bi mala apertura objektiva uzrokovala velike svjetlosne gubitke. Obzirom da dioda mora raditi u širokom dijapazonu temperatura (vrlo često u rasponu od cca $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) kućište mora biti nepropusno da se izbjegne kondenzacija vodene pare na osjetljivim elektroničkim elementima kad dioda radi na niskim temperaturama. Osim toga, zatvoreno kućište izolira diodu od strujanja zraka i akustičkih vibracija koje mogu dovesti do nekontroliranih promjena valne duljine.

Korištenjem samo stabiliziranih izvora struje za napajanje laserske diode i regulaciju temperature termoelektričnim modulom može se postići stabilnost valne duljine laserske diode od oko $\pm 50\text{ MHz}$ (tipični izvori struje koji se upotrebljavaju za pogon laserskih dioda sposobni su održavati temperaturu konstantnom u okviru $\pm 5\text{ m}^{\circ}\text{C}$, i struju kroz diodu u okviru $\pm 2\mu\text{A}$). Ako je potrebna veća stabilnost potrebno je primijeniti opto-elektroničku stabilizaciju [1, 3]. U tom slučaju dio svjetlosti laserske diode vodi se na kontrolni Fabry-Perot interferometar koji na izlazu ima fotodiodu (vidi Sl. 3). Fotodioda detektira svjetlosni signal čiji je intenzitet ovisan o valnoj duljini svjetlosti i razmaku zrcala FP. Kontrolna strujno-naponska petlja može se tako podesiti da svaka promjena valne duljine laserske diode (koja vodi na promjenu intenziteta svjetlosne pruge vidjene fotodiodom iza kontrolnog Fabry-Perot-a) uzrokuje takvu promjenu struje kroz lasersku diodu koja vraća valnu duljinu lasera na početnu vrijednost. Ovakvim opto-elektroničkim sistemom moguće je poboljšati stabilnost valne duljine laserske diode na oko $\pm 5\text{ MHz}$, pa i bolje od toga. Ovakav sistem obično u literaturi nazivaju spektrometrom s laserskom diodom.

Slika 3. Skica spektrometra s diodnim laserom (preuzeto iz J.Lawrenz i K.Niemax, *Spectrochim.Acta* **44B**, 155 (1989))

3. *Primjeri upotrebe poluvodičkih diodnih lasera u temeljnoj i primijenjenoj spektroskopiji*

Spektrometar s laserskom diodom moguće je primijeniti u temeljnoj atomskoj i molekularnoj spektroskopiji u različitim eksperimentima. Ovakav uređaj moguće je koristiti za standardnu apsorpcijsku spektroskopiju vrlo visokog razlučivanja jer se pripadna apsorpcijska linija mjeri vrlo uskom ($\delta\nu_{\text{Las}} = 10\text{-}20\text{ MHz}$) laserskom linijom. Ako raspolažemo laserskim diodama veće snage moguće je koristiti ga za eksperimente s laserom induciranom fluorescencijom (LIF), na potpuno isti način kao i lasere s organskim bojama. Koristeći ga kao dio postave za saturacijsku spektroskopiju [1] moguće je istraživati hiperfinu strukturu atomskih linija (vidi Sl. 4 i 5, [4]). Na Sl. 5 dan je spektar litijevih rezonantnih linija dobiven metodom saturacijske spektroskopije. Uske "Doppler-free" linije oba izotopa (^7Li i ^6Li) superponirane su na širokom apsorpcijskom profilu koji nastaje kao posljedica Dopplerovog širenja atomskih linija litija.

Primjena spektrometra s diodnim laserom u analitičkoj spektroskopiji jedna je od najvažnijih primjena diodnih lasera. Ovdje ćemo prikazati samo jednu primjenu, odnosno metodu koja je tokom posljednjih desetak godina stekla veliku važnost: detekciju malih signala

metodom frekventne modulacije zračenja laserske diode ("derivative spectroscopy"). Budući da je laserska dioda s elektroničkog aspekta obična poluvodička dioda struju kroz nju moguće je modulirati i vrlo visokim frekvencijama (od kHz do GHz područja). Modulacija struje diode ima za posljedicu da je i valna duljina lasera (koja ovisi o struji kroz diodu) periodično modulirana. Eventualna apsorpcija u nekom mediju distordira transmitiranu energiju lasera i mijenja sve harmoničke komponente laserskog zračenja. Fazno osjetljivi detektor (lock-in pojačalo) koristi se za izdvajanje i registraciju samo jedne harmoničke komponente. Njena amplituda linearno je ovisna o apsorpciji i direktna je mjera količine apsorbirajuće tvari u mediju koji ispituje. Omjer signal/šum i osjetljivost ove metode puno su bolji nego u slučaju obične amplitudne ("intenzitetske") modulacije i korištenja lock-in tehnike. Na slici 6 dana je skica tipičnog eksperimentalnog uređaja za mjerenje apsorpcije metodom frekventne modulacije, a na slici 7 je prikazan rezultat mjerenja apsorpcije u metanu detekcijom prvog harmonika [5].

4. *Literatura:*

1. W. Demtröder, *Laser Spectroscopy* (Springer Verlag), Berlin 1996.
2. Jörg Lawrenz, *Dissertation* (Dortmund 1988), str. 29.
3. J. Lawrenz i K. Niemax, *Spectrochim.Acta* **44B**, 155 (1989).
4. K.G.Libbrecht, R.A. Boyd, P.A. Willems, T.L. Gustavson and D.K. Kim, *Am.J.Phys* **63**, 729 (1995).
5. A. Lucchesini, I. Longo, C. Gabbanini, S. Gozzini and L. Moi, *Appl.Opt.* **32**, 5211 (1993).