CONTENTS

FABRICATION OF SILVER NANOSTRUCTURES IN THE FORM OF PARTICLES, DENDRITES AND FLOWERS ON SILICON FOR USE IN SERS SUBSTRATES 12

Dao Tran Cao, Luong Truc Quynh Ngan, Cao Tuan Anh and Kieu Ngoc Minh 12

PREPARATION OF METALLIC NANOSTRUCTURE BY LASER ABLATION FOR SURFACE ENHANCED RAMAN SCATTERING 19

Nguyen The Binh, Tran Trong Duc and Nguyen Quang Dong 19

SUPERCONTINUUM GENERATION IN THE CLADDING MODE OF PHOTONIC CRYSTAL FIBER WITH HOLLOW CORE 27

Nguyen Quang Vu, Dinh Xuan Khoa, Do Thanh Thuy, Doan The Ngo Vinh, Nguyen Tien Dung, Bui Dinh Thuan, Nguyen Thanh Cong, Ha Minh Quan, Le Canh Trung 27

THIẾT KẾ CHẾ TẠO THẤU KÍNH QUANG HỌC CHO ĐÈN SKYLED CHIẾU TRẦN 33

Dương Thị Giang, Lê Anh Tú, Phạm Hoàng Minh, Trần Minh Anh, Nguyễn Văn Quân và Phạm Hồng Dương 33

PHÁT TRIỂN HỆ KÍNH HIỂN VI HUỲNH QUANG SIÊU PHÂN GIẢI (STORM) CHO NGHIÊN CỨU VIRUS HỌC 39

Nguyễn Trọng Nghĩa, Trần Thị Thu Hà, Nguyễn Thị Thuỳ, Vũ Dương, Đỗ Quang Hòa, Nguyễn Đức Toàn, Nguyễn Thị Bích Ngọc, Nguyễn Thị Thu Thuỷ, Nguyễn Thanh Thuỷ, Lê Trà My, Bùi Thị Vân Khánh, Nguyễn Minh Huệ, Nghiêm Thị Hà Liên 39

PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU TRỊ RỐI LOẠN LIPID MÁU Ở NGƯỜI ĐÁI THÁO ĐƯỜNG TYPE 2 BẰNG LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT THẤP 46

Trần Minh Thái, Trần Thiên Hậu, Ngô Thị Thiên Hoa, Lê Trọng Đại, Cẩn Ngọc Minh 46

PHÁT XẠ LASER MODE WGM CỦA VI CẦU THỦY TINH SILICA PHA TẠP ERBIUM TÍCH HỢP VỚI CẤU TRÚC DẪN SÓNG 2D-PhC 53

Nguyễn Văn Ân, Phạm Văn Đại, Phạm Thanh Bình, Hoàng Thị Hồng Cẩm, Phạm Thanh Sơn, Ngô Quang Minh và Phạm Văn Hội 53

HUMAN CENTRIC LIGHTING LED LUMINAIRES FOR APPLICATION IN SCHOOLS AND HOSPITALS 59

Vu Doan Mien, Nguyen Hong Thu, Do Thi Hong Lien, Ngo Van Quyen and Kim Tuan Anh 59

PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU TRỊ VIÊM KHỚP DẠNG THẤP BẰNG LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT THẤP 66

Trần Minh Thái, Ngô Thị Thiên Hoa, Trịnh Trần Hồng Duyên, Nguyễn Hương Linh .. 66

ISBN: 978-604-9988-20-2

THE RAMAN ENHANCEMENT OPTICAL BIOSENSORS IN DEtERMINATION OF SEROTONIN BASED ON LOCALIZED SURFACE PLASMON RESONANCE VIA FUNCTIONALIZED GOLD NANOPARTICLES 72

Phuong Que Tran Do, Bach Thang Phan, Hanh Kieu Thi Ta, Ngoc Xuan Dat Mai, Thanh Van Thi Tran, Dung Van Hoang, Nae Yoon Lee, Nhu Hoa Thi Tran 72

NONLINEAR PROPERTIES OF MICROSCOPE OBJECTIVE USING ORGANIC DYE 77

Nguyen Manh Thang, Ly Nguyen Le, Thai Doan Thanh, Doan Quoc Tuan, Do Thanh Viet, Bui Xuan Kien, Ho Dinh Quang, Mai Van Luu, Ho Quang Quy 77

XÁC ĐỊNH HÀM CHỒNG CHẬP CỦA HỆ LIDAR BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM 87

Bùi Văn Hải, Nguyễn Tuấn Linh, Đinh Văn Trung, Dương Tiến Thọ, Phạm Đồng Bằng, Trần Ngọc Hưng, Nguyễn Thị Thanh Bảo, Phạm Minh Tiến 87

OXIDATION OF ISOEUGENOL BY ZnO NANOROD CATALYST 92

Nguyen Thi Minh Thu, Nguyen Thi Duyen, Nguyen Nam Khanh, Hoang Chi Hieu, Nguyen Trong Tam, Nguyen Hoang Duong, Hanh Hong Mai 92

ẢNH HƯỞNG CỦA THAM SỐ CẤU TRÚC ĐĨA KIM LOẠI SẮP XẾP TRẬT TỰ TỚI BƯỚC SÓNG CỘNG HƯỞNG PLASMON BỀ MẶT VÀ ỨNG DỤNG CHO CẢM BIẾN CHIẾT SUẤT 97

Hoàng Thu Trang, Phạm Thanh Sơn, Phạm Văn Đại, Ngô Quang Minh 97

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO MA TRẬN THẤU KÍNH BIÊN DẠNG TỰ DO NHẰM TĂNG ĐỘ ĐỒNG ĐỀU CHIẾU SÁNG, ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG CHO CHIẾU SÁNG NÔNG NGHIỆP 102

Kiều Ngọc Minh, Vũ Thị Nghiêm, Tống Quang Công, Vũ Hoàng, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Huy Tuân và Trần Quốc Tiến 102

PHOTONIC CRYSTAL FIBER SENSOR BASED ON SURFACE PLASMON RESONANCE FOR BLOOD COMPONENT DETECTION 106

Van Dai Pham, Thanh Son Pham, Thu Trang Hoang, Amit Kumar Shakya, Thi Hong Cam Hoang and Quang Minh Ngo 106

DESIGN AND TESTS OF A NEW LASER AUTO-FOCUSING SCANNING MINI-PROBE FOR HIGH PRECISION 3D SURFACE MEASUREMENT 112

Vo Quang Sang, Le Hoang Hai and Duan Yi Ting 112

PROTEIN DEHYDRATION AS A NOVEL APPROACH FOR FABRICATION OF HIGH QUALITY MICROSPHERE BIOLASERS 118

Toan Van Nguyen, Nhat Pham Van, Van Duong Ta 118

PROPERTIES OF PHOTONIC CRYSTAL FIBERS WITH CORE FILLED CHLOROFORM 122

Quang Ho Dinh, Tung Le Thanh, Hieu Le Van, Trung Le Canh, Vinh Thanh Nguyen, Phu Nguyen Van, Bien Chu Van, Thao Nguyen Thi, Dung Nguyen Thi and Gai Le Thi 122

ISBN: 978-604-9988-20-2

CORRELATION BETWEEN THE STRUCTURAL IMBALANCE AND FOOT PRESSURE BY RASTERSTEREOGRAPHY 126

Quach Boi Nhu, Nguyen Tran Duc Minh and Nguyen The Thuong 126

OPTIMAL DESIGN OF A MEMS HEATER FOR TUNING THE REFRACTIVE INDEX OF OPTICAL WAVEGUIDES 130

Nguyen Tai Tuan, Chu Manh Hoang 130

HIỆU SUẤT CHUYỂN ĐỔI QUANG - NHIỆT CỦA CÁC CẤU TRÚC NANO VÀNG 134

Trần Thị Thu Hà, Nguyễn Trọng Nghĩa, Vũ Dương, Đỗ Quang Hòa, Nghiêm Thị Hà Liên 134

HIỆU QUẢ CỦA LASER HAI BƯỚC SÓNG TRONG ĐIỀU TRỊ BỆNH ZONA .. 140

Lại Hải Bình và Nguyễn Thế Thường 140

EXTERNAL DAMPING MECHANISM IN OPTIMAL DESIGN OF MEMS TORSIONAL OSCILLATION MICROMIRROR 144

Nguyen Van Cuong, Chu Manh Hoang 144

COMPARATIVE ANALYSIS ON THE PERFORMANCE OF HYBRID PLASMONIC WAVEGUIDES 149

Chu Manh Hoang 149

EFFECT OF ELECTRIC NEUTRALIZER (APTES) ON OPTICAL PROPERTIES OF SILICA NANOPARTICALES CONTAINING CdSe/CdS QUANTUM DOTS 153

Chu Anh Tuan, Vu Thi Kim Lien, Nguyen Thi Hang Nga, Nguyen Ngoc Le, Nguyen Thi Bich Ngoc, Ngo Van Hoang, Chu Viet Ha 153

REFLECTANCE OF SILICON NANOPILLARS FABRICATED BY NANOSPHERE LITHOGRAPHY IN VISIBLE WAVELENGTH RANGE 160

Minh Van Nguyen, Hoang Manh Chu 160

DESIGN AND FABRICATION OF PRINTING BASED MICROLENS 164

Nguyen Xuan Ton, Nguyen Thi Xuyen, Le Van Nam Truong, Nguyen Huu Trung, Chu Thi Xuan, Chu Manh Hoang 164

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND OPTICAL PROPERTIES OF HETEROATOM DOPING OF GRAPHENE QUANTUM DOTS 168

Le Xuan Hung, Pham Nam Thang, Dao Nguyen Thuan, Julien Laverdant, Nguyen Hai Yen, Phan Ngoc Hong, Trinh Thi Hue and Pham Thu Nga 168

ĐẾ SERS CẤU TRÚC MÀNG KIM LOẠI PHỦ TRÊN MÀNG ĐƠN LỚP XẾP CHẶT HẠT NANO POLYSTYREN 174

Nguyễn Văn Tiến, Nghiêm Thị Hà Liên, Nguyễn Trọng Nghĩa, Vũ Dương, Dương Chí Dũng, Nguyễn Minh Huệ 174

ISBN: 978-604-9988-20-2

CHẾ TẠO VÀ KHẢO SÁT ĐẾ SERS THANH NANO ZnO/Ag ỨNG DỤNG PHÁT HIỆN CHẤT HỮU CƠ ABAMECTIN Ở NỒNG ĐỘ THẤP 179

Hoa Mai Anh, Nguyễn Hà Thanh, Đào Anh Tuấn, Nguyễn Hữu Kế, Lê Vũ Tuấn Hùng 179

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HỖ TRỢ CHUYỂN ĐIỆN TÍCH CỦA MÀNG NHÔM MỎNG PHỦ TRÊN THANH ZnO NHẰM ỨNG DỤNG LÀM ĐẾ SERS..... 184

Nguyễn Thành Phúc, Lê Thị Minh Huyền, Lê Vũ Tuấn Hùng 184

TÍNH CHẤT DẪN ĐIỆN LOẠI p CỦA MÀNG SnO_2 ĐỒNG PHA TẠP n-Zn 190

Đặng Hữu Phúc, Nguyễn Thị Mỹ Hạnh, Lê Thị Yến Nhung, Nguyễn Trần Hải Vân, Lê Trấn 190

THE INFLUENCE OF THE SPUTTERING CURRENTS ON STRUCTURAL, OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF $CuCr_{0.95}Mg_{0.05}O_2$ THIN FILMS195

Dung Van Hoang, Tu Anh Kieu Le, Anh Tuan Thanh Pham, Truong Huu Nguyen, Ngoc Kim Pham, Hanh Kieu Thi Ta, Hanh Duc Thi Dinh, Dai Cao Truong, Hoa Thi Lai, Ngoc Van Le, Vinh Cao Tran, Thang Bach Phan 195

ENHANCEMENT OF FLUORESCENT LABELING ALEXA VIA A SILVER THIN FILM 201

Nguyen Thanh Thao, Nguyen Thuy An, Bach Thang Phan, Hanh Kieu Thi Ta, Thanh Van Thi Tran, Lai Thi Hoa, Kieu The Loan Trinh, and Nhu Hoa Thi Tran..... 201

CHẾ TẠO VÀ KHẢO SÁT MỘT SỐ TÍNH CHẤT QUANG HỌC CỦA TINH THỂ KDP ĐỒNG PHA TẠP BRILLIANT GREEN VÀ EDTA 207

Nguyễn Duy Nhật Nguyễn Văn Hạnh, Dư Quang Minh, Ngô Đức Lương, Phan Trung Vĩnh..... 207

PHÁT HIỆN NỒNG ĐỘ THẤP CỦA THUỐC NHUỘM MÀU DỰA TRÊN ĐẾ SERS - DUNG DỊCH NANO Ag 212

Tôn Nữ Quỳnh Trang, Nguyễn Duy Hải và Vũ Thị Hạnh Thu 212

COMPARISON NONLINEARITY PROPERTIES OF LARGE AND SMALL SOLID CORE PHOTONIC FIBERS WITH As_2Se_3 SUBSTRATE 217

Thuy Nguyen Thi, Duc Hoang Trong, Tran Tran Bao Le, Thanh Thai Doan, Vu Tran Quoc, Lanh Chu Van 217

STUDY ON DISPERSION CHARACTERISTICS OF LARGE SOLID CORE PHOTONIC CRYSTAL FIBERS WITH As_2Se_3 SUBSTRATE 221

Thuy Nguyen Thi, Duc Hoang Trong, Tran Tran Bao Le, Thanh Thai Doan, Vu Tran Quoc, Bao Le Xuan, Lanh Chu Van..... 221

ẢNH HƯỞNG CỦA MỞ RỘNG DOPPLER LÊN SỰ LAN TRUYỀN XUNG LASER TRONG MÔI TRƯỜNG NGUYÊN TỬ BA MỨC CẤU HÌNH LAMBDA 225

Lê Văn Đoài, Nguyễn Huy Bằng, Đinh Xuân Khoa, Đoàn Thanh Hoà, Trần Thị Xuân Thuý, Hoàng Minh Đồng, Nguyễn Tuấn Anh và Lê Thị Minh Phương 225

ISBN: 978-604-9988-20-2

ANALYSIS OF CONFINEMENT LOSS CHARACTERISTIC OF PHOTONIC CRYSTAL FIBER WITH HOLLOW CORE INFILTRATED BY AROMATIC COMPOUND 232

Vu Tran Quoc, Vu Nguyen Quang, Thuy Nguyen Thi, Tran Tran Bao Le, Ngoc Vo Thi Minh, Hieu Le Van, Bao Le Xuan, Phu Nguyen Van, Lanh Chu Van 232

PROPAGATION PROPERTIES OF DIELECTRIC-COVERED WEDGE PLASMONIC WAVEGUIDE 238

Vu Thi Ngoc Thuy, Chu Manh Hoang 238

DESIGN AND SIMULATION OF METAL-FILM-COATED SILICA NANOPARTICLE ON SILICON SUBSTRATE 242

Nguyen Thi Hai Yen, Chu Manh Hoang 242

DEVELOPMENT OF A MULTI-WAVELENGTH RANGE DEVICE USING HIGH POWER LEDS FOR PHOTOTHERAPY 246

Bui Binh Nguyen, Tang Duc Loi, Aliaksandr Mikulich, Nguyen Thi Yen Mai, Nguyen Thanh Phuong, Nguyen Thi Bich Phuong, Tran Quoc Tien, Tong Quang Cong..... 246

REALIZATION OF A FAST OPTICAL SHUTTER..... 250

Thuy Linh La, Tran Quoc Tien, Tong Quang Cong, Aliaksandr Mikulich, Nguyen Thi Yen Mai, Nguyen Thi Bich Phuong, Nguyen Van Hieu, Nguyen Thanh Phuong 250

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO THIẾT BỊ GIÁM SÁT NHIỆT ĐỘ THEO THỜI GIAN THỰC CHO HỆ THỐNG THU ÁNH SÁNG MẶT TRỜI VÀ LED CÔNG SUẤT CAO..... 255

Nguyễn Mạnh Hiếu, Vũ Thị Nghiêm, Vũ Mạnh Kiên, Nguyễn Văn Nhật, Trần Quốc Tiến, Nguyễn Thanh Phương..... 255

DETECTION OF ULTRA-LOW CONCENTRATION OF METHYL ORANGE BY USING SILVER NANOPARTICLES/POROUS SILICON SERS ACTIVE SUBSTRATE 260

Nguyen Thuy Van, Vu Duc Chinh, Bui Huy, Pham Thanh Binh, Tran Thi Cham, Hoang Thi Hong Cam and Pham Van Hoi 260

ANALYSIS AND EXPERIMENTS ON MAGNETIC RESONANCE WIRELESS POWER TRANSFER AT LOW MHz FREQUENCY 265

Thao Duy Nguyen, Mai Ngoc Linh, Dao Le Anh Quan, Nguyen Hoa Nhu Ngoc and Thanh Son Pham 265

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO TINH THỂ NANO ZnSe BẰNG PHƯƠNG PHÁP NGHIỀN CƠ NĂNG LƯỢNG CAO 269

Bùi Thị Thu Hiền, Chử Đức Hành, Phạm Thị Diệu Linh, Trần Thị Kim Chi..... 269

CẤU TRÚC TINH THỂ CỦA HỆ HẠT NANO $Pr_{0.5}Sr_{0.5}MnO_3$ 274

Trần Đăng Thành, Nguyễn Thị Dung, Nguyễn Thị Việt Chinh, Đào Sơn Lâm, Đinh Chí Linh, Vũ Xuân Hoà, Nguyễn Hữu Đức và Trần Minh Thi 274

ISBN: 978-604-9988-20-2

STUDY THE MAGNETIC PHASE TRANSITION IN THE $ErMnO_3$ HEXAGONAL BY 2D RAMAN COS AND PCMW2D METHODS 280

Nguyen Thi Minh Hien, To Xuan Thang, Nguyen Duc Cuong, Nguyen Xuan Nghia... 280

EFFECT OF COMPOSITION DISTRIBUTION ON RAMAN SPECTROSCOPIC CHARACTERISTICS OF CdSeS NANOCRYSTALS 285

Le Anh Thi, Nguyen Dieu Linh, Nguyen Thi Thuy Lieu, Nguyen Thi Minh Hien, Nguyen Xuan Nghia 285

PHÁT TRIỂN PHƯƠNG PHÁP CHỤP ẢNH PHẢN XẠ ĐO KIỂM BỀ MẶT GƯƠNG PHI CẦU KHẨU ĐỘ LỚN 290

Bùi Văn Hải, Nguyễn Tuấn Linh, Đinh Văn Trung, Dương Tiến Thọ, Phạm Đồng Bằng, Trần Ngọc Hưng, Nguyễn Thị Thanh Bảo, Phạm Minh Tiến 290

CONSTRUCTING HIGH RESOLUTION MICROSCOPY METHOD VIA USING LED MATRIX ILLUMINATION CONFIGURATION 295

Van Nhu Le, Van Linh Nguyen, Van Quan Pham, Van Hanh Pham 295

ĐÈN LED NÔNG NGHIỆP ỨNG DỤNG TRONG CHIẾU SÁNG KÍCH THÍCH RA HOA CHO CÂY THANH LONG 300

Nguyễn Văn Trinh, Ngô Văn Quyền, Nguyễn Hồng Thu, Vũ Doãn Miên, Đỗ Thị Hồng Liên, Kim Tuấn Anh 300

INFLUENCE OF HYDROTHERMAL TIME ON MORPHOLOGY AND STRUCTURE OF TiO_2 NANORODS ARRAY 305

Chu Duc Hanh, Nguyen Tien Thanh, Le Thi Hong Phong, Hoang Van Huy and Tran Thi Kim Chi 305

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF SILICON MICRO-PYRAMIDs/ POLY(3,4-ETHYLENEDIOXYTHIOPHENE): POLYSTYRENE SULFONATE HYBRID SOLAR CELLS 311

Nguyen Van Hao, Ngo Thi Bac, Nguyen Ngoc Anh, Pham Van Trinh 311

CHẾ TẠO ĐƠN GIẢN GRAPHENE BẰNG SỰ PHÁT PLASMA TRỰC TIẾP TRONG DUNG DỊCH ỨNG DỤNG ĐỂ LOẠI BỎ Rhodamine B 316

Nguyễn Văn Hảo, Phạm Thế Tân, Đỗ Hoàng Tùng, Phạm Văn Trình và Nguyễn Văn Đăng 316

NGHIÊN CỨU QUANG XÚC TÁC TRONG VÙNG ÁNH SÁNG NHÌN THẤY XỬ LÝ NƯỚC THẢI DỆT NHUỘM SỬ DỤNG VẬT LIỆU NANO TiO_2 323

Nguyễn Thị Khánh Vân, Nguyễn Nhật Huy, Nguyễn Năng Định, Phạm Văn Hảo, Đặng Văn Thành, Nguyễn Văn Đăng 323

OPTICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF $La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3$ NANOPARTICLES 330

Nguyen Thi Dung, Dinh Chi Linh, Dao Son Lam, Vu Xuan Hoa, Nguyen Van Dang and Tran Dang Thanh 330

ISBN: 978-604-9988-20-2

PHỔ TÁN XẠ RAMAN TRONG NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH QUANG XÚC TÁC PHÂN HỦY METHYLENE BLUE 335

Nguyễn Kiều Chang và Lục Huy Hoàng 335

PREDICTION OF AIR-BROADENED N_2O LINES USING CLASSICAL MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION 340

Le Minh Thu, Nguyen Huyen Trang, Le Cong Tuong and Ngo Ngoc Hoa 340

THIẾT KẾ, MÔ PHỎNG CẤU TRÚC NANO KIM LOẠI SẮP XẾP TRẬT TỰ TUẦN HOÀN TẠO HIỆU ỨNG CỘNG HƯỞNG PLASMONICS BỀ MẶT 345

Nguyễn Hữu Tư, Hoàng Thu Trang, Phạm Thanh Sơn, Ngô Quang Minh 345

FABRICATION OF SILVER NANODENDRITES ON COPPER FOR DETECTING RHODAMINE 6G IN CHILI POWDER USING SURFACE-ENHANCED RAMAN SPECTROSCOPY 350

Luong Truc Quynh Ngan, Dao Tran Cao, Vu Thi Thu, Nguyen Manh Cuong and Nguyen Nhu Duong 350

ỨNG DỤNG PHỔ HỒNG NGOẠI VÀ PHỔ CỘNG HƯỞNG TỪ HẠT HẠT NHÂN TRONG XÁC ĐỊNH ĐỊNH TÍNH HỢP CHẤT C2 (TRANS-1,4,5,8-TETRANITROSO-1,4,5,8- TETRAAZADECALIN) ĐƯỢC TỔNG HỢP TRONG NƯỚC 355

Trần Văn Phương, Phạm Quang Hiếu, Nguyễn Minh Tuấn, Nguyễn Ngọc Hải, Phạm Kim Đạo 355

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF NANOSYSTEM CO-LOADED DOXYCYCLINE, FLORFENICOL AND NANOSILVER FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS 359

Phan Ke Son, Le Thi Thu Huong, Tran Thi Lan Anh, Dong Thi Nham and Ha Phuong Thu 359

KHẢO SÁT SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA KHỐI LƯỢNG SELEN TRONG QUÁ TRÌNH CHẾ TẠO LÊN KHẢ NĂNG QUANG XÚC TÁC CỦA MÀNG DỊ THỂ $TiO_2/MoSe_2$365

Đỗ Diệu Linh, Nguyễn Hữu Kế, Đào Anh Tuấn, Hoàng Lương Cường, Lê Văn Ngọc, Lê Vũ Tuấn Hùng 365

NGHIÊN CỨU VÀ CHẾ TẠO ĐẾ THANH NANO ZnO ĐƯỢC GẮN KẾT CÁC HẠT NANO Ag VÀ Au CHO HIỆU SUẤT SERS CAO 370

Nguyễn Duy Khánh, Nguyễn Thị Thu Tâm, Nguyễn Thị Ngọc Mai, Lê Minh Trí, Lê Văn Ngọc, Lê Vũ Tuấn Hùng 370

NGHIÊN CỨU MỘT SỐ ĐẶC TÍNH QUANG HỌC CỦA ĐƠN TINH THỂ KDP - SR PHA TẠP BORAX 378

Nguyễn Trần Đông, Nguyễn Võ Việt Trung, Phan Trung Vĩnh 378

ISBN: 978-604-9988-20-2

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF A HIGHLY SENSITIVE LOCALIZED SURFACE PLASMON RESONANCE-BASED OPTICAL FIBER BIOSENSOR UTILIZING GOLD NANOPARTICLES 383

Vu Thi Huong, Nguyen Thi Truc Anh, Nguyen Tran Truc Phuong, Nguyen Thi Truc Anh, Bach Thang Phan, Hanh Kieu Thi Ta, Ngoc Xuan Dat Mai, Jae Young Kim, Tran Duc Trung, Nhu Hoa Thi Tran 383

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÀNG MỎNG CẤU TRÚC KẾT HỢP ZnO/CZTS NHẰM ỨNG DỤNG TRONG QUANG XÚC TÁC 389

Trần Thị Phương Ngọc, Phan Thị Kiều Loan, Lê Vũ Tuấn Hùng 389

KHẢO SÁT MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA ĐƠN TINH THỂ KDP ĐỒNG PHA TẠP METHYLENE BLUE VÀ EDTA PHÁT TRIỂN BẰNG KĨ THUẬT SR 393

Dư Quang Minh, Nguyễn Duy Nhật, Ngô Đức Lương, Nguyễn Văn Hạnh, Phan Trung Vĩnh 393

ẢNH HƯỞNG CỦA BỀ DÀY ĐẾN TÍNH CHẤT ĐIỆN CỦA MÀNG SnO_x PHA TẠP Ag LOẠI p CHẾ TẠO BỞI PHƯƠNG PHÁP PHÚN XẠ PHẢN ỨNG MAGNETRON DC 397

Phạm Hoài Phương, Nguyễn Thị Hải Yến, Phạm Yến Nhi, Huỳnh Trần Mỹ Hòa, Nguyễn Hoàng Hưng, Trần Việt Cường, Trần Quang Trung 397

TẠO CHIẾT SUẤT ÂM TRONG MÔI TRƯỜNG NGUYÊN TỬ BỐN MỨC CHỮ Y NGƯỢC DỰA VÀO HIỆU ỨNG TRONG SUỐT CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ 402

Nguyễn Huy Bằng, Đoàn Thanh Hoà, Võ Thục Hiền, Nguyễn Thị Như, Vũ Ngọc Sáu, Nguyễn Văn Phú, Lê Thị Minh Phương, Lê Nguyễn Mai Anh và Lê Văn Đoài 402

EFFECT OF CALCINATION TEMPERATURE ON THE PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF TiO_2 BROOKITE 410

Tran Thi Thuong Huyen, Do Huy Hoang, Trinh The Anh 410

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO BỘ ĐIỀU KHIỂN LÀM LẠNH CHO LASER BÁN DẪN CÔNG SUẤT CAO 416

Tăng Đức Lợi, Bùi Bình Nguyên, Aliaksandr Mikulich, Nguyễn Thị Yến Mai, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Thị Bích Phượng, Trần Quốc Tiến, Tống Quang Công 416

TÍNH CHẤT QUANG, ĐIỆN VÀ TỪ CỦA VẬT LIỆU NANO TỔ HỢP ĐA PHA ĐIỆN TỪ $NiFe_2O_4$-$BaTiO_3$ 420

Đào Sơn Lâm, Nguyễn Thị Dung, Đặng Đức Dũng, Trần Đăng Thành 420

FABRICATION AND OPTICAL PROPERTIES OF GO/CNTs/Fe_3O_4 COMPOSITE 425

Nguyen Ngoc Anh, Nguyen Van Hao, Bui Hung Thang, Vu Dinh Lam, Pham Van Trinh 425

LUMINESCENCE TEMPERATURE ANTI-QUENCHING OF CdSe/CdS/ZnS CORE/SHELL/SHELL NANOSTRUCTURE 429

Nguyen Dieu Linh, Nguyen Thi Thuy Lieu, Nguyen Thi Minh Hien, Nguyen Xuan Nghia 429

ISBN: 978-604-9988-20-2

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO MỘT SỐ HỆ GƯƠNG PHẢN XẠ CAO VÙNG KHẢ KIẾN, HỒNG NGOẠI 434

Nguyễn Thành Trung và Ngô Mạnh Tiến 434

DESIGN AND FABRICATION OF DICHROIC FILTER USED FOR A VEIN FINDER SYSTEM 438

Duong Chi Dung, Le Duy Tuan, Le Hoang Hai, Ta Van Duong, Pham Van Quan, Le Anh Tu and Dao Nguyen Thuan 438

THE DEVELOPMENT OF OXYGEN JET THERAPY FOR SKIN REJUVENATION 442

Chu Thi Minh Hoa, Nguyen Minh Tan, Pham Trung Kien, Nguyen Tuan Anh..... 442

SYNTHESIS OF SILVER MESO STRUCTURES WITH TUNABLE MORPHOLOGY FOR SURFACE-ENHANCED RAMAN SCATTERING..... 448

Do Thi Hue, Tran Thi Thu Huong, Nguyen Thi Phuong Thao, Tran Khac Khoi, Tran Thi Thuc, Tran Thu Trang, Vu Xuan Hoa 448

CHẾ TẠO, NGHIÊN CỨU CÁC TÍNH CHẤT QUANG VÀ TỪ CỦA CÁC NANO TINH THỂ BÁN DẪN CdS PHA TẠP Mn 454

Nguyễn Việt Hà, Phan Văn Độ, Lương Duy Thành, Vũ Phi Tuyến, Phạm Minh Tân, Nguyễn Xuân Ca 454

RAMAN PROPERTIES OF SPINEL FERRITES/ACTIVATED CARBON NANOCOMPOSITE STRUCTURE TOWARDS THE APPLICATION IN ENVIRONMENTAL TREATMENT 460

Nguyen Thi Luyen, Tran Quang Huy..... 460

MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA NANO ZnO PHA TẠP Mn VÀ ỨNG DỤNG TRONG QUANG XÚC TÁC XANH METHYLEN 465

Duong Quoc Van, Tran Minh Thi, Nguyen Manh Nghia, Tran Dang Thanh, Pham Van Ben, Bui Hong Van..... 465

PECULAR PROPERTIES OF THE CARBOXYFLUORESCEIN BIFLUOROPHORES 471

V. A. Povedailo, S. A. Tikhomirov, I. L. Lysenko, Fan Fan, D. L. Yakovlev, P. V. Duong, P. H. Minh, V. V. Shmanai 471

DESIGN AND MANUFACTURE OF AN IR-COLLIMATOR USED TO TEST THERMAL IMAGING LENSES WORKING IN THE SPECTRAL REGION OF 8÷12 µm 476

Le Duy Tuan, Tran Anh Quang, Le Hoang Hai 476

3D SUBSURFACE GLASS ENGRAVING BY USING A 532 nm Q-SWITCHED LASER..... 482

Do Xuan Tien, Tran Thi Van Anh, Truong Duc Toan, Pham Chi Hieu, Vu Van Lieu, Giang Manh Khoi 482

ISBN: 978-604-9988-20-2

DETECTION OF ANTIBIOTICS IN AQUACULTURE AT LOW CONCENTRATIONS BY SILVER NANOPARTICLES 487

Nguyen The Binh, Tran Trong Duc and Nguyen Thi Hue 487

THE INFLUENCE OF NEAR INFRARED LIGHTING INTENSITY ON IMAGE CONTRAST OF A VEIN FINDER SYSTEM 493

Le Anh Tu, Dao Nguyen Thuan, Pham Van Quan and Ta Van Duong 493

ĐIỀU KHIỂN CỘNG HƯỞNG PLASMONIC BẰNG NANO HỢP KIM BẠC/VÀNG 497

Phạm Thị Thu Hà, Vương Hồng Hạnh, Võ Hoàng An, Phạm Thị Xuân, Nguyễn Đắc Diện, Trần Thị Phương Liên, Đỗ Văn Đức, Nguyễn Thị Thanh Nhã, Vũ Xuân Hòa ... 497

SYNTHESIZATION OF ZnO/Fe_3O_4 NANOCOMPOSITE AND SOME PROPERTIES AND APPLICATION IN PHOTOCATALYST 503

Tran Minh Thi, Duong Quoc Van, Nguyen Manh Nghia, Tran Dang Thanh, Nguyen Thi Dung 503

SPECTRAL PROPERTIES OF HYBRID PLASMON NANOSTRUCTURES Ag-R6G AND Ag-RC 508

S. A. Tikhomirov, K. A. Barbarchyk, A. D. Zamkovets, A. N. Ponyavina, Phung Viet Tiep, Pham Hong Minh 508

MANIFESTATION OF PLASMON RESONANCE ENERGY TRANSFER IN SCATTERING SPECTRA OF SILVER NANOPARTICLES COMPLEXES WITH CATIONIC PORPHYRIN 513

Sergei N. Terekhov, Andrey Yu. Panarin 513

HYDROXYAPATITE TEMPLATES DECORATED WITH SILVER NANOPARTICLES AS SERS-ACTIVE SUBSTRATES 517

Andrey Yu. Panarin, Peter Mojzes, Sergei N. Terekhov 517

IMPROVING OF SOLAR-TO-LASER-POWER CONVERSION EFFICIENCY BY USING EXTERNAL SOLAR SPECTRUM FREQUENCY CONVERTERS 522

S. Bakhramov, V. Orlovich, A. Sherniyozov, Sh. Payziyev Kh. Zikrillayev, G. Khalikov, Kh.Makhmudov, M. Ismailov, D. Payziyeva 522

ENDOGENOUS PHOTOSENSITIZERS DETERMINING THE REGULATORY EFFECT OF LASER RADIATION OF THE VISIBLE REGION ON ANIMAL SPERM 527

Plavskii V. Y., Mikulich A. V., Tretyakova A. I., Barulin N. V., Ananich T. S., Sobchuk A. N., Sysov V. A., Plavskaya L. G., Leusenka I. A. 527

MODIFICATION OF FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF STURGEON SPERM WITH LOW - LEVEL CONTINUOUS AND PULSED LASERS: A COMPARATIVE STUDY 534

A. V. Mikulich, V. Yu. Plavskii, N. V. Barulin, T. S. Ananich, L. G. Plavskaya, A.I. Tretyakova, I. A. Leusenka, A. N. Sobchuk, V. A. Sysov, A. I. Vodchits, I. A. Khodasevich, V. A. Orlovich 534

 ISBN: 978-604-9988-20-2

TEMPERATURE CALIBRATION BY MULTIVARIATE ANALYSIS OF GREEN UP-CONVERSION FLUORESCENCE SPECTRA OF ERBIUM AND YTTERBIUM-DOPED GERMANATE GLASSES AND GLASS CERAMICS 541

M. Khodasevich, D. Borisevich, V. Aseev 541

DETERMINATION OF FALSIFICATION OF FLAX OIL USING MULTIVARIATE SPECTRAL ANALYSIS METHODS 545

M. Khodasevich, D. Borisevich 545

DISCRIMINANT, PRINCIPAL AND INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS IN THz TIME-DOMAIN SPECTROSCOPY OF DRUGS 550

M. Khodasevich, D. Borisevich, A. Lyakhnovich, G. Sinitsyn, A. Goncharenko 550

TEMPERATURE - DEPENDENT PHOTOLUMINESCENCE OF CdSeS NANOCRYSTALS 554

Le Anh Thi, Nguyen Dieu Linh Nguyen Thi Thuy Lieu, Nguyen Thi Minh Hien, Nguyen Xuan Nghia 554

CHẾ TẠO VẬT LIỆU COMPOSITE GRAPHENE/MnO_2 BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN HÓA CÓ SỰ HỖ TRỢ CỦA PLASMA ỨNG DỤNG TRONG QUANG XÚC TÁC PHÂN HỦY THUỐC NHUỘM CAM TRONG NƯỚC 558

Nguyen Long Tuyen, Pham Quoc Trieu, Nguyen Ngoc Dinh, Nguyen Thanh Trung... 558

AUTHORS INDEX 563

ISBN: 978-604-9988-20-2

TẠO CHIẾT SUẤT ÂM TRONG MÔI TRƯỜNG NGUYÊN TỬ BỐN MỨC CHỮ Y NGƯỢC DỰA VÀO HIỆU ỨNG TRONG SUỐT CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

Nguyễn Huy Bằng[1], Đoàn Thanh Hoà[2], Võ Thục Hiền[3], Nguyễn Thị Như[4], Vũ Ngọc Sáu[1], Nguyễn Văn Phú[1], Lê Thị Minh Phương[5], Lê Nguyễn Mai Anh[6] và Lê Văn Đoài[1,*]

[1]*Trường Đại học Vinh, Nghệ An, Việt Nam*

[2]*Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An, Long An, Việt Nam*

[3]*Trung tâm Giáo dục thường xuyên huyện Tân Kỳ, Nghệ An, Việt Nam*

[4]*Trường THPT Quảng Ninh, Quảng Bình, Việt Nam*

[5]*Trường Đại học Sài Gòn, Tp. HCM, Việt Nam*

[6]*Trường Đại học Nông Lâm, Tp. HCM, Việt Nam*

*Email: *doailv@vinhuni.edu.vn*

Tóm tắt. Trong công trình này, chúng tôi nghiên cứu sự tạo chiết suất âm dựa vào hiệu ứng trong suốt cảm ứng điện từ-EIT (electromagnetically induced transparency) của môi trường khí nguyên tử Rb bốn mức năng lượng cấu hình chữ Y ngược. Bằng cách giải hệ phương trình ma trận mật độ chúng tôi dẫn ra được các biểu thức giải tích cho độ điện thẩm, độ từ thẩm tỷ đối và chiết suất của môi trường theo các thông số của các trường laser. Chúng tôi tìm được hai miền phổ xuất hiện chiết suất âm (tức là độ điện thẩm và độ từ thẩm tỷ đối đồng thời có giá trị âm) có bước sóng trong miền quang học. Đặc biệt, các miền phổ chiết suất âm dễ dàng di chuyển được sang miền bước sóng ngắn hoặc bước sóng dài bằng cách thay đổi tần số/bước sóng của laser điều khiển. Miền phổ chiết suất âm cũng có thể mở rộng bằng cách thay đổi cường độ của laser điều khiển.

Từ khoá: *Chiết suất âm, sự trong suốt cảm ứng điện từ, hệ nguyên tử bốn mức chữ Y ngược.*

I. GIỚI THIỆU

Chiết suất là một trong các thông số cơ bản đặc trưng cho tính chất quang học của môi trường. Theo lí thuyết điện từ, chiết suất n của môi trường được liên hệ với độ cảm điện tỉ đối ε_r và độ từ thẩm tỉ đối μ_r qua hệ thức $n^2 = \varepsilon_r\mu_r$. Với các môi trường thông thường, cả ε_r và μ_r đều dương. Lúc đó, khi sóng điện từ lan truyền trong môi trường này thì vectơ sóng $\vec{k}$, vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$ và vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$ theo thứ tự lập thành một *hệ thuận phải*. Hệ quả là chiều truyền năng lượng (chiều của vectơ Poyinting) trùng với vectơ sóng. Loại môi trường này có chiết suất dương $n = \sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$ và rất phổ biến trong thực tế. Cùng với loại môi trường có chiết suất dương, năm 1967, Veselago đã đề xuất loại môi trường có chiết suất âm $n = -\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$ ứng với trường hợp cả độ cảm điện tỉ đối ε_r và độ từ thẩm tỉ đối μ_r nhận giá trị âm [1]. Với môi trường này, vectơ sóng $\vec{k}$, vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$ và vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$ theo thứ tự lập thành một *hệ thuận trái*. Khi đó, chiều truyền năng lượng sóng điện từ trong môi trường chiết suất âm

 ISBN: 978-604-9988-20-2

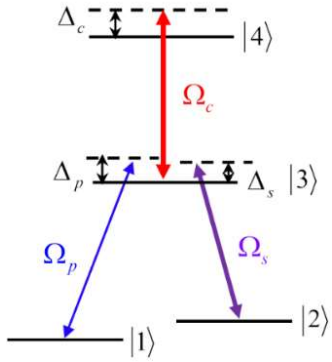
sẽ ngược với chiều của vectơ sóng. Vật liệu chiết suất âm đã được kiểm chứng thực nghiệm vào năm 2001 [2]. Hiện nay, vật liệu chiết suất âm đang thu hút sự chú ý của các nhóm nghiên cứu vì một số tính chất kỳ dị của nó, chẳng hạn như sự đảo ngược của dịch chuyển Doppler và hiệu ứng Cherenkov [1], khuếch đại của sóng suy biến [2], sự hội tụ sóng ngắn [3], sự dịch chuyển âm của hiệu ứng Goo- Haanchen [4],...

Cho đến nay, đã có một số phương pháp tạo vật liệu chiết suất âm, bao gồm siêu vật liệu tổng hợp nhân tạo [5], tinh thể quang tử cấu trúc [6],... Trong vật liệu thuận trái, chiết suất âm thường đi kèm với sự hấp thụ mạnh và hoạt động trong miền tần số vô tuyến [3], nên việc ứng dụng loại vật liệu nhân tạo này trong miền quang học vẫn đang là bài toán khó do tính bất đẳng hướng. Do đó, việc nghiên cứu chế tạo vật liệu chiết suất âm trong miền quang học có vai trò quan trọng trong ứng dụng thực tiễn. Gần đây, sự ra đời của hiệu ứng EIT [7] đã mở ra một cách đơn giản để tạo ra chiết suất âm cho môi trường khí nguyên tử trong miền quang học với sự hấp thụ rất nhỏ. Dựa trên hiệu ứng EIT, Oktel [8] và Shen [9] đã tạo được cả độ điện thẩm và độ từ thẩm âm trong môi trường hơi nguyên tử ba mức năng lượng. Gần đây, Liu [10] đã tạo được chiết suất âm trong tinh thể Er^{3+}:$YalO_3$, Zhang [11] và các cộng sự đã tạo chiết suất âm trong môi trường nguyên tử bốn mức và cho thấy có thể chuyển đổi giữa chiết suất dương và âm bằng cách thay đổi pha tương đối của các trường laser. Gần đây nhất, Krowne [12] đã đề xuất một sơ đồ kích thích để tạo ra chiết suất âm sử dụng tính chẵn lẻ của các dịch chuyển nguyên tử và Dutta [13] đã sử dụng sự giao thoa của các phát xạ tự phát để thu được chiết suất âm trong hệ nguyên tử ba mức cấu hình lambda. Chiết suất âm trong hệ bốn mức chữ V [14] và bốn mức chữ Y [15] cũng đã được nghiên cứu.

Trong công trình này, chúng tôi khảo sát sự tạo chiết suất âm trong môi trường nguyên tử Rb bốn mức chữ Y ngược bằng phương pháp giải tích. Các ảnh hưởng của cường độ và tần số của laser điều khiển lên chiết suất của môi trường đã được nghiên cứu. Từ đó, chúng tôi tìm được các miền phổ xuất hiện chiết suất âm và điều khiển các miền chiết suất âm theo các thông số của laser.

II. MÔ HÌNH LÝ THUYẾT

Xét hệ nguyên tử bốn mức năng lượng tương tác với ba trường laser theo cấu hình chữ Y ngược như trên Hình 1.



Hình 1. *Cấu hình kích thích hệ nguyên tử bốn mức chữ Y ngược bởi ba trường laser.*

ISBN: 978-604-9988-20-2

Trường laser dò đặt vào dịch chuyển $|1\rangle\leftrightarrow|3\rangle$, trường laser điều khiển Ω_c kích thích dịch chuyển $|3\rangle\leftrightarrow|4\rangle$ và trường laser tín hiệu Ω_s kích thích dịch chuyển $|2\rangle\leftrightarrow|3\rangle$. Ở đây, chúng ta phải chọn các mức sao cho tính chẵn lẻ của mức $|1\rangle$ phải khác so với các mức $|2\rangle$ và $|3\rangle$, do đó dịch chuyển lưỡng cực điện $|1\rangle\leftrightarrow|3\rangle$ và dịch chuyển lưỡng cực từ $|1\rangle\leftrightarrow|2\rangle$ là được phép.

Sự tiến triển của các trạng thái nguyên tử trong các trường laser được mô tả theo phương trình Liouville sau:

$$\dot{\rho} = -\frac{i}{\hbar}\left[\mathrm{H},\rho\right] + \Lambda\rho, \tag{1}$$

trong đó ρ là ma trận mật độ vuông cấp 4×4, H là Hamilton năng lượng toàn phần và $\Lambda\rho$ là số hạng mô tả các quá trình phân rã. Sử dụng gần đúng sóng quay và gần đúng lưỡng cực điện, chúng ta rút ra được các phương trình ma trận mật độ là:

$$\dot{\rho}_{11} = \frac{i}{2}\Omega_p(\rho_{31}-\rho_{13}) - \Gamma_{31}\rho_{33}, \tag{2}$$

$$\dot{\rho}_{22} = \frac{i}{2}\Omega_S(\rho_{32}-\rho_{23}) - \Gamma_{32}\rho_{33}, \tag{3}$$

$$\dot{\rho}_{33} = \frac{i}{2}\left[\Omega_p(\rho_{13}-\rho_{31}) + \Omega_s(\rho_{23}-\rho_{32}) + \Omega_c(\rho_{43}-\rho_{34})\right] + \Gamma_{32}\rho_{33} + \Gamma_{31}\rho_{33} - \Gamma_{43}\rho_{44}, \tag{4}$$

$$\dot{\rho}_{44} = \frac{i}{2}\Omega_c(\rho_{34}-\rho_{43}) + \Gamma_{43}\rho_{44}, \tag{5}$$

$$\dot{\rho}_{23} = \frac{i}{2}\Omega_s(\rho_{33}-\rho_{22}) - \frac{i}{2}\Omega_p\rho_{21} - \frac{i}{2}\Omega_c\rho_{24} + \left[-i\Delta_s - \gamma_{32}\right]\rho_{23}, \tag{6}$$

$$\dot{\rho}_{24} = \frac{i}{2}\Omega_s\rho_{34} - \frac{i}{2}\Omega_c\rho_{23} + \left[-i(\Delta_s+\Delta_c) - \gamma_{42}\right]\rho_{24}, \tag{7}$$

$$\dot{\rho}_{34} = -\frac{i}{2}(\Omega_p\rho_{14} + \Omega_s\rho_{24}) + \frac{i}{2}\Omega_c(\rho_{44}-\rho_{43}) + \left[-i\Delta_s - \gamma_{43}\right]\rho_{34}, \tag{8}$$

$$\dot{\rho}_{21} = -\frac{i}{2}\Omega_p\rho_{23} + \frac{i}{2}\Omega_s\rho_{31} + \left[i(\Delta_p-\Delta_s) - \gamma_{21}\right]\rho_{21}, \tag{9}$$

$$\dot{\rho}_{31} = -\frac{i}{2}\Omega_p(\rho_{33}-\rho_{11}) + \frac{i}{2}\Omega_s\rho_{21} + \frac{i}{2}\Omega_c\rho_{41} + \left[i\Delta_p - \gamma_{31}\right]\rho_{31}, \tag{10}$$

$$\dot{\rho}_{41} = -\frac{i}{2}\Omega_p\rho_{43} + \frac{i}{2}\Omega_c\rho_{31} + \left[i(\Delta_p+\Delta_c) - \gamma_{41}\right]\rho_{41}, \tag{11}$$

trong đó, Γ_{mn} là tốc độ phân rã độ cư trú từ mức $|m\rangle$ tới mức $|n\rangle$, còn γ_{mn} là tốc độ suy hao độ kết hợp nguyên tử giữa các mức $|m\rangle$ và $|n\rangle$.

Độ lệch tần số của laser dò, laser tín hiệu và laser điều khiển so với tần số dịch chuyển nguyên tử tương ứng là $\Delta_p = \omega_p - \omega_{31}$, $\Delta_s = \omega_s - \omega_{32}$ và $\Delta_c = \omega_c - \omega_{43}$.

Bây giờ, chúng ta giải hệ phương trình ma trận mật độ (2)-(11) ở trạng thái dừng (tức là $\dot{\rho}_{mn} = 0$) để tìm nghiệm cho phần tử ma trận mật độ ρ_{31} liên quan đến độ cảm điện và ρ_{21} liên quan đến độ cảm từ của dịch chuyển dò. Giả thiết chùm laser dò yếu hơn nhiều so với chùm laser điều khiển và laser tín hiệu, từ các phương trình (9) và (11) ta suy ra:

 ISBN: 978-604-9988-20-2

$$\rho_{21} = \frac{i\Omega_s / 2}{-\left[i(\Delta_p - \Delta_s) - \gamma_{21}\right]}\rho_{31} \tag{12}$$

$$\rho_{41} = \frac{i\Omega_c / 2}{-\left[i(\Delta_p + \Delta_c) - \gamma_{41}\right]}\rho_{31} \tag{13}$$

Thay các biểu thức (12) và (13) vào phương trình (10), ta được:

$$\rho_{31} = \frac{-i\Omega_p / 2}{\left[(i\Delta_p - \gamma_{31}) + \frac{\Omega_s^2 / 4}{\left[i\Delta_p - i\Delta_s - \gamma_{21}\right]} + \frac{\Omega_c^2 / 4}{\left[i\Delta_p + i\Delta_c - \gamma_{41}\right]}\right]}, \tag{14}$$

ở đây, chúng ta giả sử điều kiện ban đầu (khi chưa kích thích nguyên tử) là nguyên tử ở trạng thái thấp nhất, tức là $\rho_{11} = 1$ và $\rho_{22} = \rho_{33} = \rho_{44} = 0$. Thay (14) vào (12) ta tìm được nghiệm của ρ_{21}:

$$\rho_{21} = \frac{-\Omega_s\Omega_p}{\left[4\left[i(\Delta_p - \Delta_s) - \gamma_{21}\right](i\Delta_p + \gamma_{31}) + \Omega_s^2 + \frac{\Omega_c^2}{\left[i\Delta_p + i\Delta_c - \gamma_{41}\right]\left[i(\Delta_p - \Delta_s) - \gamma_{21}\right]}\right]} \tag{15}$$

Khi đó, các biểu thức của phân cực điện và phân cực từ được liên hệ với phần tử ma trận mật độ ρ_{31} và ρ_{21} như sau [15]:

$$\gamma_e = \frac{2d_{31}^2\rho_{31}}{\varepsilon_0\hbar\Omega_p} \tag{16}$$

$$\gamma_m = \frac{2c\mu_0\mu_{21}d_{31}\rho_{21}}{\hbar\Omega_p}, \tag{17}$$

trong đó, μ_0 là hằng số từ của chân không, *c* là tốc độ ánh sáng trong chân. Mặt khác, độ điện thẩm tỉ đối của môi trường đối với chùm laser dò được xác định bởi [15]:

$$\varepsilon_r = 1 + \chi_e = \frac{1 + 2/3N\gamma_e}{1 - 1/3N\gamma_e} \tag{18}$$

trong đó, *N* là mật độ của nguyên tử trong môi trường. Do đó, công thức xác định độ từ thẩm tỉ đối của môi trường đối với chùm laser dò là:

$$\mu_r = \frac{1 - 2/3N\gamma_m}{1 - 1/3N\gamma_m} \tag{19}$$

Cuối cùng, đối với vật liệu thuận trái, chiết suất được xác định bởi [15]:

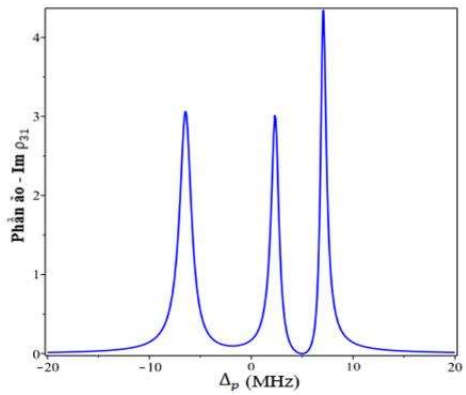
$$n = -\sqrt{\varepsilon_r\mu_r} \tag{20}$$

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

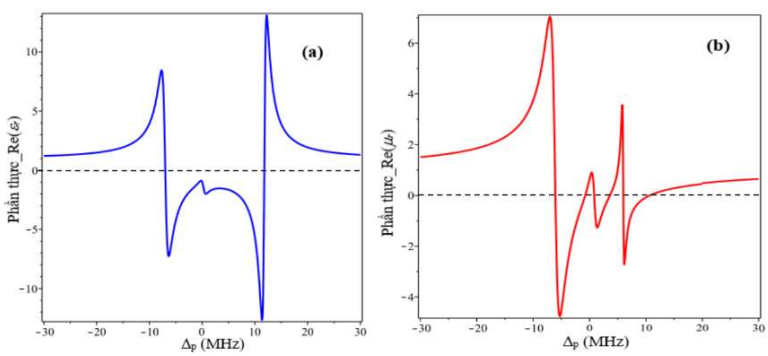
Trong mục này, áp dụng các kết quả tính toán trên cho hệ nguyên tử ^{87}Rb với các trạng thái $|1\rangle$, $|2\rangle$ và $|3\rangle$ ứng với mức siêu tinh tế $5^2S_{1/2}$ F=1, $5^2S_{1/2}$ F=2, $5^2P_{3/2}$ F=2 và $5^2D_{5/2}$ F=3. Mật độ nguyên tử N=0,25.10^{24} (m^{-3}), momen lưỡng cực điện d_{31}=1,6.10^{-29} (C.m^2) và momen lưỡng cực từ μ_{21}=0,9.10^{-5}A.m^2. Các tốc độ phân rã của các trạng thái là γ_{31}=1 MHz, γ_{21}=0,1 MHz và γ_{41}=0,5 MHz.

ISBN: 978-604-9988-20-2

Trước hết, chúng tôi cho thấy rằng đối với hệ nguyên tử bốn mức cấu hình chữ Y ngược thì phổ hấp thụ của chùm laser dò xuất hiện hai miền trong suốt (gọi là hai cửa sổ EIT) bằng cách vẽ đồ thị của phần ảo Im(ρ_{31}) theo độ lệch tần Δ_p như trên Hình 2. Trong đó, các tham số của các chùm laser được chọn là Ω_p=0,1 MHz, Ω=6 MHz, Ω_c=10 MHz, Δ_s=5 MHz và Δ_c=2 MHz. Hình 2 cho thấy trên đồ thị hấp thụ xuất hiện hai cửa sổ trong suốt tại các vị trí Δ_p = -2 MHz và Δ_p=5 MHz. Cửa sổ EIT tại vị trí Δ_p=-2 MHz được gây bởi chùm laser điều khiển Ω_c, còn cửa sổ EIT tại vị trí Δ_p=5 MHz được gây bởi chùm laser tín hiệu Ω_s. Tuỳ vào cường độ của chùm laser điều khiển hoặc laser tín hiệu mà cửa sổ EIT có độ sâu và độ rộng khác nhau. Sự xuất hiện hai cửa sổ EIT như vậy có thể tạo được nhiều miền phổ xuất hiện chiết suất âm như sẽ được khảo sát dưới đây.



Hình 2. *Đồ thị của hấp thụ dò Im(ρ_{31}) theo độ lệch tần số Δ_p khi cố định các tham số khác tại giá trị Ω_p = 0,1 MHz, Ω_s = 6 MHz, Ω_c = 10 MHz, Δ_s = 5 MHz và Δ_c = 2 MHz.*



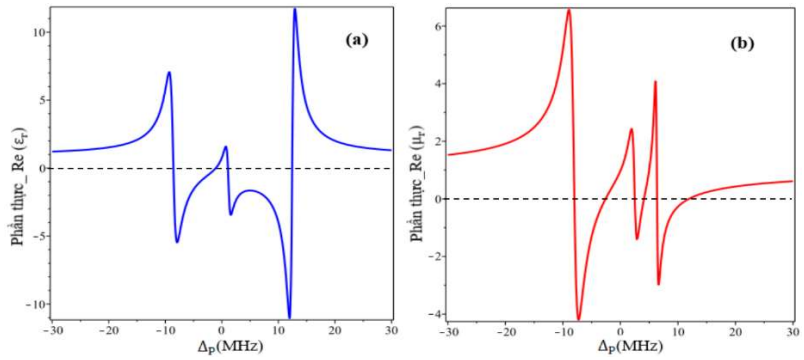
Hình 3. *Đồ thị của phần thực độ điện thẩm tỉ đối Re(ε_r) và độ từ thẩm tỉ đối Re(μ_r) theo độ lệch tần số Δ_p. Các tham số của các trường laser là Ω_p=0,1 MHz, Ω_s=6 MHz, Ω_c=5 MHz, Δ_s=5 MHz và Δ_c=2 MHz.*

Đồ thị của phần thực độ điện thẩm tỉ đối Re(ε_r) và độ từ thẩm tỉ đối Re(μ_r) theo độ lệch tần số Δ_p được vẽ như trên Hình 3. Trong đó, các tham số được chọn là Ω_p=0,1 MHz, Ω_s=6 MHz, Ω_c=5 MHz, Δ_s=5 MHz và Δ_c=2 MHz. Hình 3a cho thấy phần thực của độ điện thẩm tỉ đối Re(ε_r) âm trong các miền có độ lệch tần số miền -7,2 MHz<Δ_p<11,9 MHz. Hình 3 ta thấy độ từ thẩm tỉ đối Re(μ_r) có giá trị âm trong các miền -6 MHz <Δ_p <-0,7 MHz; 0,7 MHz<Δ_p<3,5 MHz và 6 MHz<Δ_p<10 MHz. Như vậy, cả Re(ε_r) và Re(μ_r) đồng thời có giá trị âm trong ba miền tần số -6 MHz<Δ_p <-0,7 MHz; 0,7 MHz<Δ_p<3,5 MHz và 6

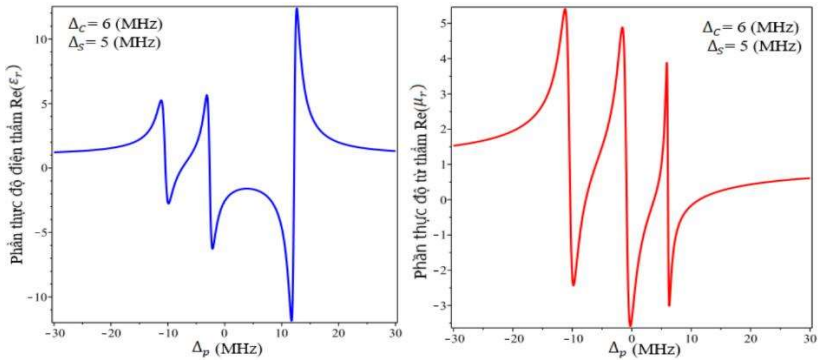
ISBN: 978-604-9988-20-2

MHz<Δ_p<10 MHz. Các miền tần số này nằm lân cận tần số cộng hưởng của dịch chuyển $5^2S_{1/2}$ F=1 ↔ $5^2P_{3/2}$ F=2 của nguyên tử ^{87}Rb (có bước sóng 794 nm), tức là các miền phổ chiết suất âm nằm trong miền ánh sáng nhìn thấy.

Trong Hình 4, chúng tôi giữ nguyên các tham số Ω_p=0,1 MHz, Ω_s=6 MHz, Δ_s=5 MHz và Δ_c=2 MHz tương tự như trong Hình 3, còn cường độ chùm laser điều khiển được tăng lên Ω_c=10 MHz. Từ hình vẽ ta thấy khi tăng cường độ laser điều khiển thì hình dạng đường cong tán sắc bị thay đổi. Độ điện thẩm tỉ đối Re(ε_r) lúc này có giá trị âm trong các miền -8,6 MHz<Δ_p <-1 MHz và 1 MHz<Δ_p<12,4 MHz. Độ từ thẩm tỉ đối Re(μ_r) có giá trị âm trong các miền -8 MHz<Δ_p<-2,5 MHz; 2,5 MHz<Δ_p<4 MHz và 6,4 MHz<Δ_p<11,6 MHz. Do đó, Re(ε_r) và Re(μ_r) đồng thời có giá trị âm trong ba miền tần số -8 MHz<Δ_p<-2,5 MHz; 2,5 MHz<Δ_p<4 MHz và 6,4 MHz<Δ_p<11,6 MHz. Như vậy, khi tăng cường độ laser điều khiển thì miền chiết suất âm được mở rộng hơn so với Hình 3, bởi vì cửa sổ EIT được mở rộng hơn khi tăng cường độ laser điều khiển.



Hình 4. *Đồ thị của phần thực độ điện thẩm tỉ đối Re(εr) và độ từ thẩm tỉ đối Re(μr) theo độ lệch tần số Δp. Các tham số của các trường laser là Ω_p=0,1 MHz, Ω_s=6 MHz, Ω_c=10 MHz, Δ_s=5 MHz và Δ_c=2 MHz.*



Hình 5. *Đồ thị của phần thực độ điện thẩm tỉ đối Re(ε_r) và độ từ thẩm tỉ đối Re(μ_r) theo độ lệch tần số Δ_p. Các tham số của các trường laser là Ω_p=0,1 MHz, Ω_s=6 MHz, Ω_c=10 MHz, Δ_s=5 MHz và Δ_c=6 MHz.*

Cuối cùng, trong Hình 5 chúng tôi khảo sát sự thay đổi của chiết suất âm theo tần số của laser điều khiển. Trong đó, các tham số Ω_p=0,1 MHz, Ω_s=6 MHz, Ω_c=10 MHz và Δ_s=5 MHz được giữ nguyên như trong Hình 4, còn độ lệch tần số chùm laser điều khiển được tăng lên Δ_c=6 MHz. Từ hình vẽ ta thấy khi tăng cường độ laser điều khiển thì hình dạng đường cong tán sắc cũng bị thay đổi. Độ điện thẩm tỉ đối Re(ε_r) lúc này có giá trị âm trong

ISBN: 978-604-9988-20-2

các miền -10,3 MHz<Δ_p<-7,5 MHz và -2,7 MHz<Δ_p<12 MHz. Độ từ thẩm tỉ đối Re(μ_r) có giá trị âm trong các miền -10,3 MHz<Δ_p<-7,5 MHz; -0,9 MHz<Δ_p<4 MHz và 6,1 MHz < Δ_p < 12 MHz. Do đó, Re(ε_r) và Re(μ_r) đồng thời có giá trị âm trong ba miền tần số -10,3 MHz<Δ_p<-7,5 MHz; -0,9 MHz<Δ_p<4 MHz và 6,1 MHz<Δ_p<12 MHz. Như vậy, miền chiết suất âm được dịch chuyển sang bên trái trên trục Δ_p.

IV. KẾT LUẬN

Chúng tôi đã dẫn ra được các biểu thức giải thích cho độ điện thẩm tỉ đối và độ từ thẩm tỉ đối của môi trường khí nguyên tử Rb bốn mức năng lượng được kích thích bởi ba trường laser theo cấu hình chữ Y ngược. Đối với cấu hình kích thích này chúng tôi tìm được hai miền phổ trong suốt trên đồ thị hấp thụ của chùm dò. Nhờ đó, xuất hiện ba miền tần số có độ điện thẩm tỉ đối và độ từ thẩm tỉ đối đồng thời nhận giá trị âm xung quanh các cửa sổ trong suốt. Các miền chiết suất âm này nằm trong miền ánh sáng nhìn thấy. Đặc biệt, độ rộng của miền chiết suất âm thay đổi được bằng cách thay đổi cường độ laser điều khiển, và miền chiết suất âm cũng dễ dàng xê dịch bằng cách thay đổi tần số laser điều khiển.

LỜI CẢM ƠN. Công trình này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong Đề tài mã số 103.03-2019.383.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] V. G. Veselago, The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ε and μ, *Sov. Phys. Usp*., **10**, 1967, 509-514.

[2] R. A. Shelby, D. R. Smith, and S. Schultz, Experimental verification of a negative index of refraction, *Science*, **292**, 2001, 77-79.

[3] J. B. Pendry, Negative Refraction Makes a Perfect Lens, *Phys. Rev. Lett.,* **85**, 2000, 3966.

[4] P. R. Berman, Goos-Hänchen shift in negatively refractive media, *Phys. Rev. E,* **66**, 2002, 067603.

[5] J. Pendry, Positively negative, *Nature***, 423**, 2003, 22.

[6] E. Cubukcu, Negative refraction by photonic crystal, *Nature*, **423**, 2003, 604.

[7] K. J. Boller, A. Imamoglu, S. E. Harris, Observation of electromagnetically induced transparency, *Phys. Rev. Lett*.,**66**, 1991, 2593.

[8] M. O. Oktel and O. E. Mustecaplioglu, Electromagnetically induced left-handedness in a dense gas of three-level atoms, *Phys. Rev. A***, 70**, 2004, 053806.

[9] J. Q. Shen, Z. C. Ruan and S. He, How to realize a negative refractive index material at the atomic level in an optical frequency range, *J. Zhejiang Univ. Sci*., **5**, 2004, 1322.

 ISBN: 978-604-9988-20-2

[10] C. Liu, J. Zhang, J. Liu and G. Jin, The electromagnetically induced negative refractive index in the Er^{3+}:$YAlO_3$ crystal, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys*., **42**, 2009, 095402.

[11] H. Zhang, Y. Niu, H. Sun, J. Luo and S. Gong, Phase control of switching from positive to negative index material in a four-level atomic system, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **41**, 2008, 125503.

[12] C. M. Krowne and J. Q. Shen, Dressed-state mixed-parity transitions for realizing negative refractive index, *Phys. Rev. A*, **79**, 2009, 02381.

[13] S. Dutta and K. R. Dastidar, Realization of a negative refractive index in a three–level Λ system via spontaneously generated coherence, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys*., **43**, 2010, 215503.

[14] H. Zhang, Y. Niu and S. Gong, Electromagnetically induced negative refractive index in a V-type four-level atomic system, *Phys. Lett. A,* **363**, 2007, 497.

[15] S. C. Zhao, et al, Left-handedness without absorption in the four-level Y-type atomic medium, *Chin. Phys. B*, **19**(1), 2010, 014211.

NEGATIVE REFRACTIVE INDEX IN AN INVERTED Y-TYPE FOUR-LEVEL ATOMIC MEDIUM BASED IN ELECTROMAGNETICALLY INDUCED TRANSPARENCY

Nguyen Huy Bang[1], Doan Thanh Hoa[2], Vo Thuc Hien[3], Nguyen Thi Nhu[4], Vu Ngoc Sau[1], Nguyen Van Phu[1], Le Thi Minh Phuong[5], Le Nguyen Mai Anh[6] and Le Van Doai[1,*]

[1]*Vinh University, Nghe An, Vietnam*

[2]*Long An University of Economics and Industry, Long An, Vietnam*

[3]*Center for Continuing Education in Tan Ky District, Nghe An, Vietnam*

[4]*Quang Ninh High School, Quang Binh, Vietnam*

[5]*Sai Gon University, Ho Chi Minh City, Vietnam*

[6]*Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam*

Abstract. In this work, we study the realization of negative refractive index without absorption in a four-level inverted Y-type atomic system based on electromagnetically induced transparency (EIT). We show that this system exhibits negative refractive index in two EIT windows for the probe field. The frequency band of negative refractive index can be controlled by the amplitude and frequency detuning of the coupling field.

ISBN: 978-604-9988-20-2