



پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی

گروه: فوتونیک

پایان‌نامه:

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فوتونیک-آلی

عنوان:

مطالعه تجربی کلیدزنی تمام نوری در محیط بلور مایع نماتیک

استاد راهنما:

دکتر حبیب خوش‌سیما

استاد مشاور:

دکتر سهراب احمدی

پژوهشگر:

طاہرہ افشاروٹوقی

بهمن ۱۳۸۹

نام خانوادگی: افشاروثوقی		نام: طاهره	
عنوان پایان‌نامه: مطالعه تجربی کلیدزنی تمام نوری در محیط بلور مایع نماتیک			
استاد راهنما: دکتر حبیب خوش‌سیما			
استاد مشاور: دکتر سهراب احمدی			
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فوتونیک	گرایش: آلی	دانشگاه: تبریز
پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی		تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ۱۳۸۹	
		تعداد صفحه: ۹۶	
کلید وازه‌ها: کلیدزنی تمام نوری- بلور مایع نماتیک- سلول پیچشی- اثر محدودسازی نوری- لایه‌های باردار سطحی- میدان سد کننده- گذار فردریکز			
<p>چکیده: کلیدهای نوری با استفاده از سلول بلور مایع پیچشی به خاطر مزیت‌هایی از جمله ولتاژ کار پایین در نمایشگرهای بلور مایع و مدولاتورهای فضایی-نوری کاربرد زیادی پیدا کرده است. هدف از انجام این پروژه مطالعه تجربی کلیدزنی تمام نوری با استفاده از سلول بلور مایع پیچشی می‌باشد که بین دو قطبش‌گر عمود بر هم قرار گرفته است. بلور مایع مورد استفاده E7 بوده و سلول پیچشی دارای لایه‌ای از جنس پلیمر PVA می‌باشد. در این سلول از طریق اعمال ولتاژ الکتریکی DC در لبه آستانه گذار فردریکز به همراه تابش پرتو پمپاژ کلیدزنی تمام نوری انجام شده است. اعمال میدان الکتریکی DC به سلول باعث ایجاد میدان سدکننده‌ای در مقابل میدان اصلی می‌شود. این میدان الکتریکی باعث کاهش اثر میدان الکتریکی اعمالی شده و ولتاژ مورد نیاز برای انجام گذار فردریکز افزایش می‌یابد. با تابش پرتو پمپاژ این میدان تا حدی خنثی شده و اثر میدان الکتریکی اعمالی افزایش می‌یابد. در نتیجه تابش پرتو پمپاژ منجر به انتقال ولتاژ آستانه گذار فردریکز به مقادیر پایین‌تر شده که نتایج حاصل از این پروژه نیز مؤید این مطلب می‌باشد.</p> <p>نتایج حاصل از این پروژه نشان دهنده تأثیرگذاری قطبش، توان و طول موج پرتو پمپاژ و همچنین زاویه قرارگیری پرتو پمپاژ نسبت به پرتو کاوش روی فرآیند کلیدزنی می‌باشد. به‌گونه‌ای که می‌توان با تنظیم هریک از عوامل گفته شده شرایط بهینه‌ای برای کلیدزنی نمونه (شامل تباین بالا و زمان خیزش و واهلش کوتاهتر) فراهم کرد. همچنین نتایج نشان‌دهنده قابلیت استفاده از دستگاه (سلول بلور مایع به همراه قطبش‌گرها) به عنوان محدودکننده نوری می‌باشد.</p>			

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار
	فصل اول: بررسی منابع
۳	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- معرفی کلیدهای نوری
۶	۱-۲-۱- تاریخچه کلیدزنی نوری
۷	۲-۲-۱- کلیدزنی نوری در سلول‌های بلور مایع
۹	۳-۱- معرفی بلور مایع
۱۰	۱-۳-۱- تاریخچه بلور مایع
۱۱	۲-۳-۱- ساختار مولکولی بلور مایع
۱۳	۳-۳-۱- طبقه‌بندی بلور مایع
۱۷	۴-۳-۱- پارامتر نظم
۲۰	۵-۳-۱- نظم‌دهی بلور مایع
۲۱	۶-۳-۱- تئوری پیوستگی
۲۴	۷-۳-۱- انتشار نور در محیط بلور مایع

.....۲۹	۱-۳-۸-بازجهت گیری مولکولی بلور مایع نماتیک در اثر تابش نور
.....۳۱	۱-۳-۸-۱-دینامیک باز جهت گیری بلور مایع نماتیک در میدان نوری
.....۳۴	۱-۳-۹-گذار فردریکز
.....۳۴	۱-۳-۹-۱-گذار فردریکز در سلول بلور مایع پیچشی
.....۳۸	۱-۴-سلول بلور مایع با آرایش پیچشی
.....۴۰	۱-۴-۱-ماتریس جونز سلول بلور مایع پیچشی
.....۴۴	۱-۴-۲-سلول بلور مایع پیچشی در میدان الکتریکی
.....۴۵	۱-۴-۳-عبور نور از سلول بلور مایع پیچشی
.....۴۹	۱-۴-۴-کاربرد های بلور مایع نماتیک با آرایش پیچشی
فصل دوم: مواد و روش ها	
.....۵۳	۱-۲-مقدمه
.....۵۳	۲-۲-معرفی بلور مایع مورد استفاده
.....۵۴	۲-۳-نحوه ساخت نمونه
.....۵۶	۲-۴-اندازه گیری ضخامت نمونه
.....۵۶	۲-۵-سازو کار کلیدزنی نوری
.....۶۱	۲-۶-کاربرد کلیدزنی نوری بر پایه سلول بلور نماتیک پیچشی در گیت های منطقی نوری
.....۶۱	۲-۷-ترتیبات تجربی
.....۶۲	۲-۷-۱-چگونگی پیدا کردن ولتاژ آستانه
.....۶۳	۲-۷-۲-چگونگی کلیدزنی نمونه توسط پرتو پمپاژ
.....۶۴	۲-۷-۳-بررسی عوامل مؤثر روی کلیدزنی نمونه
.....۶۴	۲-۷-۳-۱-بررسی تأثیر زاویه پرتو پمپاژ نسبت به پرتو کاوش روی فرآیند کلیدزنی

.....۶۴	۲-۷-۳-۲- بررسی تأثیر توان پرتو پمپاژ روی کلیدزنی نمونه
.....۶۵	۲-۷-۳-۳- بررسی تأثیر قطبش پرتو پمپاژ روی کلیدزنی نمونه
.....۶۶	۲-۷-۳-۴- بررسی تأثیر طول موج پرتو پمپاژ روی فرآیند کلیدزنی
.....۶۶	۲-۷-۴- بررسی تأثیر توان پرتو پمپاژ روی انتقال ولتاژ آستانه گذار فردریکز
.....۶۷	۲-۷-۵- مقایسه ولتاژ آستانه AC و DC بدون تابش پرتو پمپ و DC با تابش پرتو پمپ
.....۶۷	۲-۷-۶- بررسی تغییرات عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب زمان در سه ولتاژ مختلف
.....۶۸	۲-۸-۸- ترتیبات تجربی برای بررسی اثر محدودسازی نوری
.....۶۹	۲-۸-۱- بررسی اثر محدود سازی نوری

فصل سوم: نتایج و بحث

.....۷۰	۳-۱- مقدمه
.....۷۰	۳-۲- نتایج حاصل از اندازه‌گیری ضخامت نمونه
.....۷۱	۳-۳- نتایج حاصل از بررسی عوامل مؤثر روی کلیدزنی نمونه
.....۷۱	۳-۳-۱- بررسی تأثیر زاویه پرتو پمپاژ نسبت به پرتو کاوش روی فرآیند کلیدزنی
.....۷۵	۳-۳-۲- بررسی تأثیر توان پرتو پمپاژ روی کلید زنی نمونه
.....۸۱	۳-۳-۳- بررسی تأثیر قطبش پرتو پمپاژ روی کلیدزنی نمونه
.....۸۲	۳-۳-۴- بررسی تأثیر طول موج پرتو پمپاژ روی کلیدزنی نمونه
.....۸۵	۳-۴- نتایج حاصل از بررسی تأثیر توان پرتو پمپاژ روی انتقال ولتاژ آستانه گذار فردریکز
.....۸۸	۳-۵- نتایج حاصل از مقایسه ولتاژ آستانه AC و DC بدون تابش پرتو پمپ و DC با تابش پرتو پمپ
.....۸۹	۳-۶- نتایج بررسی تغییرات عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب زمان در سه ولتاژ مختلف
.....۹۱	۳-۷- نتایج بررسی اثر محدودسازی نوری
.....۹۳	نتیجه‌گیری

منابع..... ۹۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) برخی مشخصه‌های اصلی مخلوط بلور مایع E7.....	۵۳
جدول (۱-۳) زمان خیزش و واهلش برای زوایای مختلف پرتو پمپاژ با قطبش S نسبت به پرتو کاوش.....	۷۳
جدول (۲-۳) زمان خیزش و واهلش برای زوایای مختلف پرتو پمپاژ با قطبش p نسبت به پرتو کاوش.....	۷۴
جدول (۳-۳) زمان خیزش و واهلش برای کلیدزنی سلول با توان‌های مختلف پرتو پمپاژ با قطبش S.....	۷۷
جدول (۴-۳) زمان خیزش و واهلش برای کلیدزنی سلول با توان‌های مختلف پرتو پمپاژ با قطبش p.....	۷۸
جدول (۵-۳) زمان خیزش و واهلش برای کلیدزنی سلول با پرتو پمپاژ ناقطبیده با توان‌های مختلف.....	۸۱
جدول (۶-۳) زمان خیزش و واهلش برای کلیدزنی سلول در ۳ حالت ۱. پرتو پمپاژ ناقطبیده ۲. پرتو پمپاژ با قطبش p ۳. پرتو پمپاژ با قطبش S.....	۸۲
جدول (۷-۳) زمان خیزش و واهلش برای کلیدزنی سلول با تابش پرتو پمپاژ با طول موج‌های مختلف.....	۸۴

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: کلید روشن-خاموش تمام نوری با استفاده از تداخل سنج ماخ-زندر و ماده ای که اثر کر

نوری از خود نشان می دهد ۴

شکل ۲-۱: فیبر نوری غیر خطی نا همسانگرد که به عنوان کلید تمام نوری استفاده می شود. در حضور

پرتو کنترل فیبر تأخیر فازی $\pi/2$ ایجاد می کند، بنابراین قطبش نور ورودی قطبیده خطی 90°

درجه می چرخد و از قطبش گر خروجی عبور میکند. در غیاب نور کنترل، فیبر هیچ تأخیر فازی

ایجاد نمی کند و نور توسط قطبش گر سد میشود. فیلتر بکار می رود تا نور سیگنال را عبور دهد و

نور کنترل را سد کند ۵

شکل ۳-۱: جفت گر مستقیم که بوسیله اثر کر نوری کنترل شده است. پرتو نور ورودی با توان پایین که

از یکی از موج برها وارد می شود به موج بر دیگر کانالدهی می شود، در حالیکه پرتو نور با توان

بالا در موج بر مشابه باقی می ماند ۶

شکل ۴-۱: تنظیمات تجربی ارائه شده توسط کیم و همکارانش برای اندازه گیری پاسخ الکترو-اپتیک

سلول بلور مایع نماتیک با لایه حساس به نور پلیمید ۸

شکل ۵-۱: مقایسه درجه نظم مواد مختلف ۹

شکل ۶-۱: مولکول بلور مایع میله ای شکل (A) ساختار شیمیایی (B) مدل فضایی (C) مدل فیزیکی. ... ۱۱

شکل ۷-۱: ساختار مولکولی بلور مایع نماتیک. X و Y گروه‌های انتهایی و A گروه متصل کننده است. ۱۲

شکل ۸-۱: بلورهای مایع پلیمریک. (A) زنجیره اصلی (B) زنجیره جانبی ۱۴

شکل ۹-۱: جهت مندی مولکول بلورهای مایع. (A) نماتیک (B) کلستریک یا نماتیک مارپیچی ۱۶

شکل ۱۰-۱: انواع بلور مایع سمکتیک. (A) سمکتیک A. (B) سمکتیک C ۱۶

شکل ۱۱-۱: جهت گیری مولکول میله‌ای شکل ۱۸

شکل ۱۲-۱: سلول بلور مایع نماتیک. (A) جهت مندی موازی (B) جهت مندی عمودی ۲۱

شکل ۱۳-۱: انواع تغییر شکل بلور مایع. (A) گسترشی (B) خمشی (C) پیچشی ۲۲

شکل ۱-۱۴: بیضی گون ضریب شکست برای موج نوری قطبیده خطی که در راستای S در بلور تک محور منتشر می شود. N_O و $N_E(\theta)$ به ترتیب ضرایب شکست برای مؤلفه‌های عادی و غیرعادی

..... ۲۶ هستند

شکل ۱-۱۵: راستای بردار آنالیزور و پلاریزور در دستگاه مختصات شامل محور عادی و غیرعادی بلور

..... ۲۸ مایع

شکل ۱-۱۶: بر هم کنش پرتو نور با قطبش خطی با فیلم بلور مایع نماتیک بصورت عمودی نظم‌دهی

..... ۳۲ شده

..... ۳۵ شکل ۱-۱۷: گذار فردریکز در سلول بلور مایع پیچشی

..... ۳۹ شکل ۱-۱۸: چرخش مولکولی بلور مایع نماتیک پیچشی 90°

شکل ۱-۱۹: سلول بلور مایع نماتیک پیچشی ارائه شده توسط ماگین، (a) ورقه‌های میکا موازی هم

قرار گرفته‌اند. (b) پیچش یکی از ورقه‌ها باعث پیچش بردار راهنمای مولکول‌های بلور مایع اطراف

..... ۴۰ سطح میشود.

..... ۴۱ شکل ۱-۲۰: انتشار نور در بلور مایع نماتیک پیچشی، در این شکل زاویه پیچش 90° است

شکل ۱-۲۱: انحراف و باز شدن پیچ بردار راهنمای سلول بلور مایع نماتیک پیچشی 90° تحت اعمال

..... ۴۵ میدان الکتریکی

شکل ۱-۲۲: نمودار عبور نور از فیلم بلور مایع نماتیک پیچشی به صورت تابع از $2\theta/\pi$

..... ۴۷ $(=2D\Delta n/\lambda)$ برای زوایای مختلف پیچش سلول

..... ۵۰ شکل ۱-۲۳: نمایشگر بلور مایع نماتیک پیچشی در ماشین حساب

..... ۵۱ شکل ۱-۲۴: مدولاتور نوری فضایی بلور مایع

شکل ۱-۲: ساختار شیمیایی هر یک از اجزاء بلور مایع E7، ۴(۱)-پتیل-۴'-سیانوبیفنیل ۴(۲)-هپتیل-

..... ۵۲ ۴'-سیانوبیفنیل ۴(۳)-اوکتیل-۴'-سیانوبیفنیل ۴(۴)-دنتیل-۴'-سیانوترفنیل

شکل ۲-۲: ترسیم فرآیند گذار نور القایی فردریکز. (A) یون‌ها بدون حضور پمپاژ یا میدان اعمالی

بصورت متقارن توزیع میشوند. (B) اعمال میدان الکتریکی باعث شکستن تقارن دو طرفه و

گسترش قطبیت در سلول میشود. (C) دفع نور القایی باعث میشود تا جریان نوری ضعیف تقارن دو

طرفه اصلی را دوباره احیا کند. (D) اعمال همزمان میدان الکتریکی و نور باعث افزایش شدید

.....۵۸..... غلظت یون اطراف سطح و باز جهت گیری بردار راهنما میشود

شکل ۲-۳: فرآیند الکتریکی نور القایی در سلول بلور مایع پس از اعمال میدان الکتریکی DC. (A)

.....۵۹..... بدون حضور پرتو پمپ (B) پس از اعمال پرتو پمپ

.....۶۰..... شکل ۲-۴: دیاگرام تراز انرژی برای تزریق نور القایی بار از ITO

شکل ۲-۵: آرایش تجربی بکار رفته: P پلاریزور و A آنالیزور، خطوط تیره پرتو پمپاژ و خطوط نقطه-

.....۶۱..... چین پرتو کاوش میباشد.

شکل ۲-۶: بررسی تغییرات عبور پرتو کاوش از نمونه بهنگام قطع و وصل پرتو پمپ برای یک حالت

.....۶۲..... نوعی

شکل ۲-۷: ترتیبات تجربی برای بررسی اثر محدود سازی نوری، P قطبش گر، A آنالیزور و خطوط

.....۶۳..... نقطه چین نشان دهنده لیزر دیودی است

.....۶۴..... شکل ۳-۱: نمودار مربوط به طیف عبوری از سلول بلور مایع پیچشی خالی.

شکل ۳-۲: نمودار عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب زمان برای پرتو پمپاژ با قطبش S و توان ۲۰ MW

.....۶۵..... و برای زوایای مختلف پرتو پمپاژ نسبت به پرتو کاوش

شکل ۳-۳: نمودار عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب زمان برای پرتو پمپاژ با قطبش P و توان ۲۰ MW

.....۶۶..... و برای زوایای مختلف پرتو پمپاژ نسبت به پرتو کاوش.

شکل ۳-۴: نمودار مقایسه افت عبور برای پرتو پمپاژ با قطبش S با قطبش P برای زوایای مختلف پرتو

.....۶۷..... پمپاژ نسبت به پرتو کاوش.

شکل ۳-۵: نمودار عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب زمان برای پرتو پمپاژ با توان‌های مختلف و با

.....۶۸..... قطبش S تحت زاویه 60° نسبت به پرتو کاوش.

شکل ۳-۶: نمودار عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب زمان برای پرتو پمپاژ با توان‌های مختلف و با

.....۶۹..... قطبش P تحت زاویه 60° نسبت به پرتو کاوش.

.....۷۰..... شکل ۳-۷: نمودار تباین بر حسب توان پرتو پمپاژ برای پرتو پمپاژ با قطبش S و P.

شکل ۳-۸: نمودار عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب زمان برای پرتو پمپاژ ناقطبیده با توان‌های

.....۷۱..... مختلف.

- شکل ۳-۹: نمودار عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب زمان برای حالتی که نمونه بوسیله تابش پرتو پمپاژ در سه حالت ۱. پرتو پمپاژ ناقطبیده ۲. پرتو پمپاژ با قطبش S. ۳. پرتو پمپاژ با قطبش P کلیدزنی شد. ۸۲.....
- شکل ۳-۱۰: نمودار عبور پرتو کاوش بر حسب زمان برای پرتو پمپاژ با طول موج‌های متفاوت. ۸۳.....
- شکل ۳-۱۱: نمودار میزان افت عبور پرتو کاوش در اثر وصل پمپ بر حسب طول موج پرتو پمپاژ. ۸۴.....
- شکل ۳-۱۲: نمودار عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب ولتاژ اعمالی برای توان‌های مختلف پرتو پمپاژ با قطبش S. ۸۶.....
- شکل ۳-۱۳: نمودار عبور پرتو کاوش از نمونه بر حسب ولتاژ اعمالی برای توان‌های مختلف پرتو پمپاژ با قطبش P. ۸۷.....
- شکل ۳-۱۴: نمودار انتقال ولتاژ آستانه گذار فردریکز بر حسب توان پرتو پمپاژ با دو قطبش S و P. ۸۸.....
- شکل ۳-۱۵: نمودار آستانه گذار فردریکز برای میدان اعمالی AC، DC و DC با تابش پرتو پمپاژ. ۸۹.....
- شکل ۳-۱۶: نمودار عبور بر حسب زمان در ۳ ولتاژ DC اعمالی مختلف. ۹۰.....
- شکل ۳-۱۷: نمایش قابلیت محدودسازی نوری سلول بلور مایع پیچشی با لایه نظم‌دهی شده PVA. ۹۲.....

پیشگفتار

بلورهای مایع به دلیل دوشکستی و امکان باز جهت گیری محور دو شکستی بوسیله ی میدان های خارجی نسبتاً ضعیف، در اپتوالکترونیک به شدت مورد توجه هستند. این بازجهت گیری میتواند به وسیله ی میدان های مغناطیسی و الکتریکی و یا بوسیله ی میدان الکتریکی ناشی از امواج نوری القاء شود[۱]. در کلیدهای نوری بوسیله سلول بلور مایع نماتیک، این بازجهت گیری بوسیله میدان الکتریکی DC و میدان الکتریکی ناشی از امواج نوری القاء می شود. امروزه کلید های نوری بر پایه بلور مایع نماتیک کاربرد های زیادی درنمایشگر های بلور مایع، مدولاتورهای نوری فضایی آدرس-دهی نوری و وسایل محدود کننده نوری پیدا کرده اند. اغلب این کلیدها دارای آرایش پیچشی بوده و دارای مزیت هایی از جمله ولتاژ کار پایین ، نسبت تباین بالا و عبور تقریباً بی رنگ می باشد[۲].

کلیدهای نوری با استفاده از سلول بلور مایع پیچشی بر اساس عبور نور از سلول بلور مایع که بین دو قطبش گر عمود بر هم قرار گرفته است کار می کنند . در سلول پیچشی قطبش نور عبوری همراه با بردار راهنمای سلول می پیچد. می توان بازجهت گیری مولکول بلور مایع را از طریق اعمال ولتاژ خارجی کنترل کرد و از این طریق روی قطبش نور عبوری اثر گذاشت. در صورتی که انرژی میدان الکتریکی اعمال شده در سلول بلور مایع از انرژی کشسانی مولکول های بلور مایع بیشتر باشد، گذار فردریکز اتفاق خواهد افتاد[۳]. در این وضعیت، به غیر از مولکول های چسبیده به دیواره سلول بقیه مولکول ها طوری باز جهت گیری خواهند کرد که راستای ممان دوقطبی الکتریکی آنها در جهت میدان خارجی قرار گیرد. بازجهت گیری ممان دو قطبی مولکول ها باعث تغییر بیضی گون ضریب شکست خواهد شد که منجر به تغییر فاز و قطبش نور عبوری می شود. آنالیزور تغییرات

قطبش را به تغییران شدت تبدیل خواهد کرد در نتیجه با تغییر قطبش نور عبوری از سلول شدت آن نیز در عبور از آنالیزور تغییر خواهد کرد. مطالعات نشان می‌دهد که با استفاده از پرتو پمپاژ میتوان ولتاژ آستانه گذار فردریکز را کنترل کرد که البته این در صورتی امکان پذیر است که از یک لایه حساس به نور همچون پلی وینیل الکل (PVA) بر روی دیواره داخلی سلول استفاده شود [۳]. می‌توان فرض کرد که در نتیجه اعمال میدان الکتریکی DC به سلول، میدان سدکننده‌ای ناشی از جمع شدن بارهای آزاد بین سطوح مرزی، ایجاد می‌شود که اثر میدان الکتریکی اعمالی را کاهش داده و ولتاژ مورد نیاز برای القاء گذار فردریکز را افزایش می‌دهد. تابش پرتو پمپاژ به سلول باعث خنثی شدن میدان سدکننده می‌شود که در نتیجه منجر به انتقال ولتاژ آستانه گذار فردریکز به سمت مقادیر کمتر خواهد شد.

۱-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی کلیدزنی نوری و تاریخچه آن پرداخته شده است. در ادامه به معرفی بلور مایع پرداخته و با تعریف خواص محیط بلور مایع، انتشار نور در محیط بلور مایع بررسی شده است. در بخش آخر به معرفی سلول بلور مایع پیچشی و خواص آن پرداخته و عبور نور و تأثیر میدان الکتریکی روی نمونه بلور مایع پیچشی بررسی شده است.

۱-۲- معرفی کلیدهای نوری^۱

کلیدهای نوری وسایلی هستند که برای کلیدزنی سیگنال نوری بکار می‌روند. کنترل کلیدزنی می‌تواند الکتریکی یا نوری باشد که در مورد اول کلید الکترواپتیکی و در مورد دوم که سیگنال نوری بوسیله نور کنترل می‌شود، اپتو-اپتیکی یا تمام نوری نامیده می‌شود.

کلیدهای نوری به کمک مواد نوری غیر خطی، نور را کنترل می‌کنند. اثرات نوری غیر خطی ممکن است مستقیم یا غیرمستقیم باشد. اثرات مستقیم در ترازهای اتمی یا مولکولی هنگامی اتفاق می‌افتد که وجود نور پذیرفتاری اتمی یا سرعت جذب فوتون در ماده را تغییر دهد. اثر کر اپتیکی^۲ (تغییر ضریب شکست با شدت نور اعمالی) و جذب قابل اشباع^۳ (وابستگی ضریب جذب به شدت نور اعمالی) مثالی از اثرات نوری غیرخطی مستقیم هستند. اثرات نوری غیرمستقیم شامل فرآیندهای واسطه‌ای هستند که در آنها بارهای الکتریکی یا میدان‌های الکتریکی بگونه‌ای که در مثال‌های زیر آورده شده است نقش ایفا می‌کند [۴].

^۱ Optical switches

^۲ Optical Kerr effect

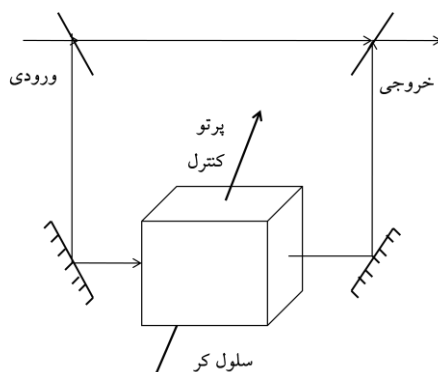
^۳ Saturable absorption

در مواد نور شکستی، نور غیر یکنواخت جذب شده، بارهای سیار ایجاد میکند. این بارهای سیار از مناطق با غلظت بالا پخش شده و در جای دیگری به تله می افتند و باعث ایجاد میدان الکتریکی بار-فضایی^۱ داخلی میشوند که خصوصیات نوری ماده را با اثر الکترواپتیک تغییر میدهد[۴].

در مدولاتورهای فضایی نوری بلور مایع با آدرس‌دهی نوری، پرتو نور نویسنده بوسیله لایه رسانای نوری جذب شده و بارهای الکتریکی و در پی آن میدان الکتریکی ایجاد میکند که جهت-گیری مولکولی و بنابر این ضرایب شکست ماده را تغییر میدهد و بنابر این عبور نور خواننده از سلول را کنترل میکند[۴].

در دو مثال بالا رفتار غیرخطی نوری به خاطر اثر میانی ارائه داده می شود: نور میدان الکتریکی تولید می کند که خصوصیات نوری ماده را تغییر می دهد.

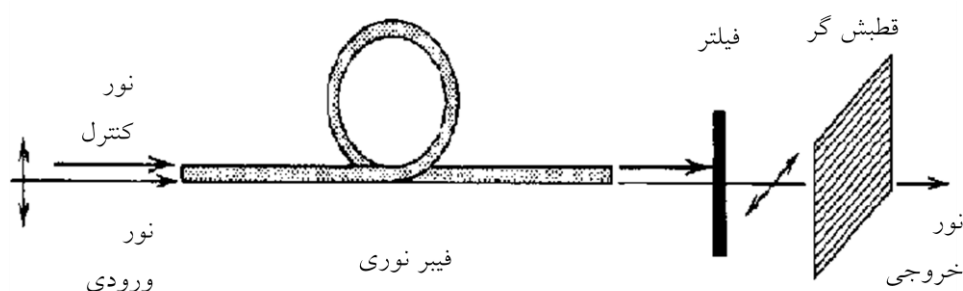
اثرات نوری غیرخطی ممکن است برای ایجاد کلیدهای تمام نوری بکار رود. مدولاسیون فازی نوری در مواد کر مطابق شکل (۱-۱) ، ممکن است با قرار دادن ماده در یکی از بازوهای تداخل سنج، به مدولاسیون شدت تبدیل شود. بنابراین با روشن و خاموش شدن نور کنترل، عبور تداخل سنج بین ۰ و ۱ کلیدزنی می شود[۴].



¹ Space-charge field

شکل ۱-۱: کلید روشن-خاموش تمام نوری با استفاده از تداخل سنج ماخ-زندر و ماده ای که اثر کر نوری از خود نشان می دهد.

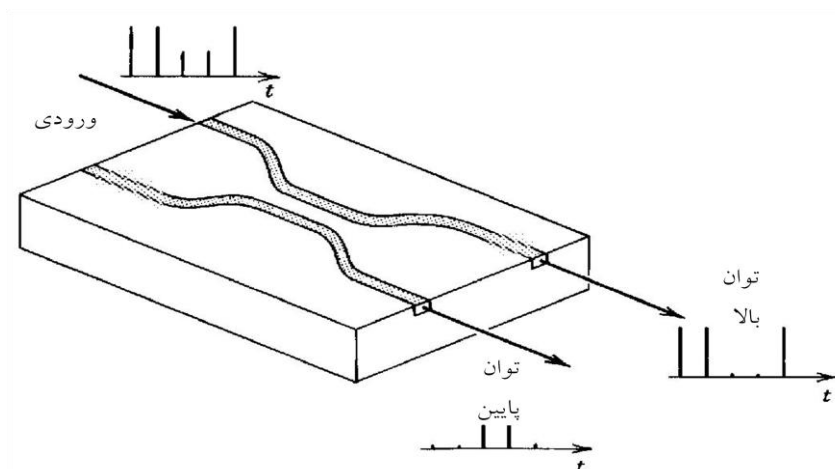
تأخیر بین قطبش ها در ماده غیرخطی ناهمسانگرد و قرار دادن ماده بین دو قطبش گر عمود بر هم، ممکن است برای کلیدزنی به کار رود. شکل (۱-۲) مثالی از کلیدزنی تمام نوری با استفاده از فیبر نوری ناهمسانگرد است که اثر کر نوری از خود نشان می دهد.



شکل ۱-۲: فیبر نوری غیرخطی ناهمسانگرد که به عنوان کلید تمام نوری استفاده می شود. در حضور پرتو کنترل فیبر تأخیر فازی $\pi/2$ ایجاد می کند، بنابر این قطبش نور ورودی قطبیده خطی 90° درجه می چرخد و از قطبش گر خروجی عبور میکند. در غیاب نور کنترل، فیبر هیچ تأخیر فازی ایجاد نمی کند و نور توسط قطبش گر سد میشود. فیلتر بکار می رود تا نور سیگنال را عبور دهد و نور کنترل را سد کند [۴].

در بعضی از کلیدهای نوری، نور کنترل کننده و نور کنترل شده از هم مجزا نیستند و پرتو نور عبوری می تواند خود را کنترل کند. به عنوان مثال در موجبرهای جفت شده^۱ ضرایب شکست و ابعاد ممکن است بگونه ای انتخاب شود که با پایین بودن توان و در صورت برقرار بودن شرط جورشدگی فاز، نور ورودی به موجبر دیگری تغییر مسیر دهد و هنگامیکه توان بالاست ضرایب شکست با خاصیت اثر کر اپتیکی تغییر کرده و شرط جورشدگی فاز برقرار نخواهد بود و توان در موجبر اولیه باقی می ماند، بطوریکه از این وسیله میتوان به عنوان کلید خود کنترل شده استفاده کرد [۴].

¹ Directional coupler



شکل ۱-۳: موجبرهای جفت شده که بوسیله اثر کر نوری کنترل شده است. پرتو نور ورودی با توان پایین که از یکی از موجبرها وارد می شود به موجبر دیگر کانال دهی می شود، در حالیکه پرتو نور با توان بالا در موجبر مشابه باقی می ماند [۴].

۱-۲-۱- تاریخچه کلیدزنی نوری

توجه به کلیدهای نوری اولین بار در سال ۱۹۷۰ معطوف شد و در سال ۱۹۸۰ بعد از هجوم فیبرهای نوری به عرصه مخابرات افزایش پیدا کرد. در اوایل سال ۱۹۹۰ تلاش های قابل توجهی در زمینه تحقیق روی کلیدهای نوری انجام شد. این تلاش ها بیشتر از جانب محققانی در زمینه های کلیدزنی الکترونیکی، تجهیزات اپتوالکترونیکی و نوری، محاسبات نوری و ارتباطات نوری بود. در آن زمان، تجهیزات کلیدزنی نوری با توجه به کارکردشان عموماً به دو دسته تجهیزات ارتباطی و تجهیزات منطقی طبقه بندی شد. تجهیزات ارتباطی وسایلی هستند که ارتباط یا نقشه ای بین درگاه های ورودی و خروجی برقرار می کنند. این ارتباط با توجه به حالت دستگاه تغییر می کند و این حالت به نوبه خود بوسیله ی کنترل الکتریکی خارجی تعیین می شود. وسایلی از این نوع از گردش اطلاعات از میان خود برای تغییر حالت دستگاه استفاده نمی کنند. وسایل منطقی از طرف دیگر،

وسایل دیجیتال هستند که از اطلاعاتی که از میان خودشان عبور می کنند، برای کنترل حالت کلیدزنی دستگاه استفاده می کنند. با آغاز سال ۱۹۹۰ چند تکنولوژی رشد نیافته محدود برای ساخت کلیدهای نوری در مخابرات در دسترس بودند. کلیدهای الکترواپتیک موج‌بری (که اغلب با استفاده از موج‌برهای لیتیوم نیوبایت به همراه تیتانیوم ساخته شده بودند) کلیدهای بزرگ اپتو مکانیکی (همچون کلید فیبری) مدولاتورهای فضایی نوری (با استفاده از بلورهای مایع) و گیت‌های تقویت‌کننده نوری نیمه رسانا (SOA) کاندیدهای اصلی این تجهیزات بودند [۵].

۱-۲-۲- کلیدزنی نوری در سلول‌های بلور مایع

از سلول بلور مایع با آرایش پیچشی نیز می‌توان در کلیدهای نوری استفاده کرد. کلیدهای تمام نوری با استفاده از سلول بلور مایع نماتیک کاربرد بالقوه‌ای در مدولاتورهای فضایی نوری با آدرس‌دهی نوری و مدارات مجتمع^۱ دارد [۳]. این کلیدها اغلب شامل سلول بلور مایع نماتیک با آرایش پیچشی است که بین دو قطبش‌گر عمود بر هم قرار می‌گیرد. در این کلیدها علاوه بر نور کاوش^۲ از نور پمپاژ^۳ هم جهت کنترل نوری گذار فردریکز استفاده می‌شود. در واقع این کلیدها از طریق نوری کنترل می‌شوند و به همین دلیل این کلیدها می‌توانند در دسته تمام نوری قرار گیرند.

تاریخچه کلیدهای نوری با استفاده از سلول بلور مایع نماتیک به سال ۱۹۹۹ برمی‌گردد که کیم و همکارانش^۴ کلیدزنی نوری سلول بلور مایع نماتیک موازی سطح نظم‌دهی شده توسط لایه‌های

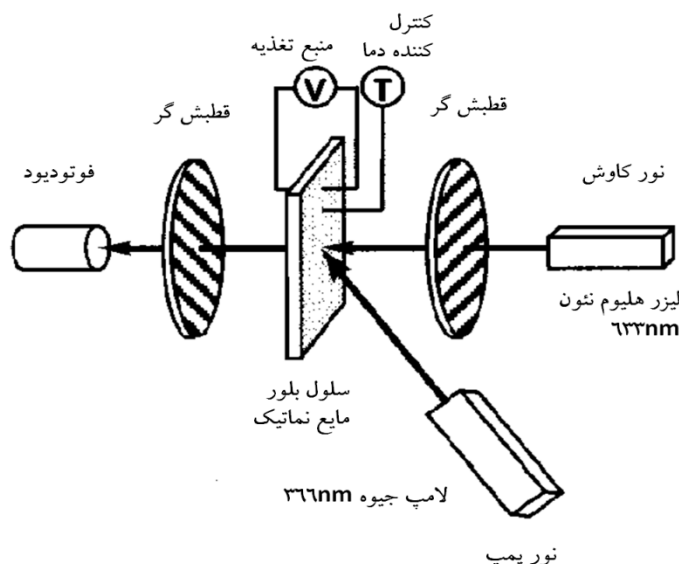
^۱ Integrated circuits

^۲ Probe beam

^۳ Pump beam

^۴ Kim et al

حساس به نور پلیمید^۱ را گزارش دادند [۶]. سلول ارائه شده بصورت سطحی با پلیمر پلیمید آماده-سازی شده و با بلور مایع 5CB پر شده بود و بین قطبش گرهای عمود بر هم بگونه‌ای قرار داده شده بود که عبور ماکزیموم باشد. جهت گیری مولکول‌های بلور مایع با اندازه‌گیری عبور پرتو لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۳nm به صورت تابعی از ولتاژ DC اعمالی نشان داده شده بود. آزمایش‌ها در حضور لامپ جیوه ($\lambda=366\text{nm}$) و در غیاب آن به عنوان پرتو پمپاژ انجام شد. در هر دو نمونه مشاهده شد که ولتاژ آستانه برای باز جهت‌گیری مولکول‌ها در حضور پرتو پمپاژ کاهش می‌یافت [۶].



شکل ۱-۴: تنظیمات تجربی ارائه شده توسط کیم و همکارانش برای اندازه‌گیری پاسخ الکترو-اپتیک سلول بلور مایع نماتیک با لایه حساس به نور پلیمید [۶].

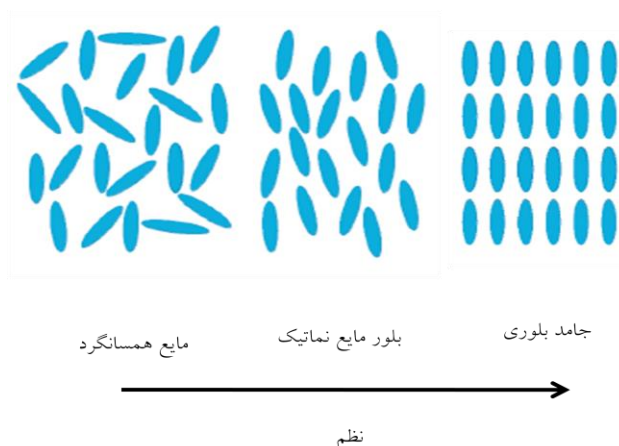
بعد از آن در سال ۲۰۰۵ جسیکا مرلین و همکارانش کلید تمام نوری بر اساس سلول بلور مایع پیچشی که بین قطبشگرهای عمود بر هم قرار گرفته بود، گزارش دادند [۳]. سلول پیچشی نماتیک از

¹ polyimids

لایه های نظم‌دهی شده پلی وینیل الکل PVA و بلور مایع 5CB ساخته شده بود که بین قطبش-گره‌های عمود بر هم قرار گرفته بود تا اثر کلیدزنی را نمایش دهد.

۳-۱- معرفی بلور مایع

بلور مایع فاز میانی بین فاز جامد بلوری و مایع همسانگرد می باشد و اغلب مزوژن^۱ نامیده میشوند. فازهای مختلفی که مزوژن‌ها میتوانند داشته باشد فازهای میانی یا مزوفاز هستند [۷]. مولکول‌های بلور مایع مانند مایع جاری می شوند ولی هنوز بعضی خواص فیزیکی بلوری از جمله برخی نظم‌ها را از خود نشان میدهد [۸]. بهترین راه برای مشخص کردن این فاز از ماده درجه نظم است. شکل (۱-۵) اختلاف بین جامدات بلوری، مایعات همسانگرد و بلورهای مایع را بر حسب درجه نظم آنها را نشان می دهد. جامد بلوری دارای نظم مکانی در ۳ بعد و نظم جهتی است، در حالیکه مایع همسانگرد فاقد نظم جهتی و مکانی است. درجه نظم در فاز بلور مایع کم‌تر از درجه نظم جامدات بلوری بوده و عموماً از نوع نظم جهتی است.



شکل ۱-۵: مقایسه درجه نظم مواد مختلف

¹ mesogens

۱-۳-۱- تاریخچه بلور مایع

فاز بلور مایع در سال ۱۸۸۸ توسط فردریک رینیتزر^۱ که در حال مطالعه روی نقش کلسترول در گیاهان بود کشف شد [۹ و ۱۰]. رینیتزر دریافت که استر کلسترول^۲ دارای دو نقطه ذوب است، اولی گذار از جامد به مایع در دمای $145,5^{\circ}\text{C}$ و دومی گذار به مایع شفاف در $187,5^{\circ}\text{C}$. مطالعات بلور مایع تا بعد از جنگ جهانی دوم شدیداً ادامه یافت [۹]. اگرچه دلیل واضحی برای اینکه چرا بعد از آن مطالعه در این زمینه کند شد وجود ندارد، ولی برخی گمانه‌زنی‌ها مبنی بر تصور اینکه تمام فیزیک مهم بلور مایع پیش از این کشف شده است وجود دارد. همچنین علاوه بر کمبود وسایل سودمند، برخی محققان هنوز بی‌خبر از این فاز جدید ماده بودند [۹]. پیرامون سال ۱۹۶۰، محققان به فاز بلور مایع علاقه‌مند شدند، نهایتاً تکنولوژی بلور مایع شروع به ظهور کرد و نهایتاً بلورهای مایع به طور برجسته‌ای سردسته صنعت نمایشگرها شدند. در سال ۱۹۶۸، اولین نمایشگر بلور مایع بوسیله محققان در آزمایشگاه‌های RCA^۳ گزارش شد [۹]. در طول دهه‌ها، تجهیزات بلور مایع عنصر اصلی در ساخت ساعت‌ها و ماشین حساب‌ها بود. امروزه نمایشگرهای بلور مایع در تعداد زیادی از وسایل الکترونیکی قابل حمل استفاده می‌شود. بلورهای مایع کاربردهای مهم دیگری همچون حس‌گرهای گرمایی^۴، مدولاتورهای نوری فضایی^۵، محدود کننده‌های نوری^۶ و غیره دارند.

¹ Friedrich Reinitzer

² Cholesterol ester

³ Radio corporation of America

⁴ Temperature sensing

⁵ Spatial light modulators

⁶ Optical limiters