



دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین

گروه مهندسی نانوفتونیک

پایاننامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نانو فتونیک

عنوان

طراحی سوئیچ قابل کنترل تمام نوری با استفاده از تکنیک شفافیت

القائی دو قطبی

اساتید راهنما

دکتر علی رستمی

دکتر کریم عباسیان

استاد مشاور

دکتر سعید گل محمدی

پژوهشگر

نسبیه پاسیار

شهریور ۱۳۸۹

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خداوند یکتا را شایسته است که تفکر را در ذات آدمی نهاد.

از زحمات بی‌وقفه اساتید راهنمای محترم جناب آقای دکتر علی رستمی و آقای دکتر کریم عباسیان که در طول دوره کارشناسی ارشد و طی مراحل پایاننامه با صبر و بردباری اینجانب را راهنمایی نمودند نهایت سپاس و تشکر را دارم. از استاد مشاور جناب آقای دکتر سعید گل محمدی نیز صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

همچنین از اعضای خانواده مخصوصاً پدر و مادر بزرگوارم به پاس عنایات و الطافشان نهایت تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

نام خانوادگی دانشجو : پاسیار	نام : نسیمه
عنوان پایاننامه : طراحی سوئیچ قابل کنترل تمام نوری با استفاده از تکنیک شفافیت القایی دو قطبی	
اساتید راهنما : دکتر کریم عباسیان – دکتر علی رستمی	
استاد مشاور : دکتر سعید گل محمدی	
مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد	رشته : مهندسی فوتونیک
گرایش : نانو فوتونیک	دانشگاه : تبریز
دانشکده : مهندسی فناوری های نوین	تاریخ دفاع از پایاننامه: ۸۹/۶/۳۱
کلمات کلیدی :	
Electromagnetically induced transparency (EIT), dipole induced transparency (DIT), all optical switch, cavity Quantum Electrodynamics (CQED), photonic crystal cavity	
چکیده :	
<p>امروزه با توجه به انتقال حجم وسیع اطلاعات نیاز به شبکه های مخابراتی فوق سریع برای انتقال انواع داده ها ، تصاویر و صدا می باشد. شبکه های تمام نوری یک راه حل مناسب برای افزایش سرعت انتقال اطلاعات هستند. یکی از نیازمندی های اساسی شبکه های نوری آینده، سوئیچ زنی نوری با سرعت بسیار بالا است.</p> <p>طراحی سوئیچ تمام نوری بستگی به اندرکنش بین دو میدان الکترومغناطیسی مجزا دارد. برای بالا بردن خاصیت غیرخطی و قدرت اندرکنش بالا، از شفافیت القایی الکترومغناطیسی (EIT) بعنوان یک پدیده جالب اندرکنش نور با ماده استفاده می شود. EIT یک خاصیت غیرخطی نوری است که در رنج فرکانسی باریکی یک ماده تاریک را به یک ماده شفاف تبدیل می کند. انتشار میدان کنترلی همزمان با میدان پروب در یک محیط غیرخطی، ضریب شکست ماده را برای سیگنال پروب تغییر می دهد در صورتی که ضریب شکست در مقابل خودش عوض نمی شود. بنابراین دو میدان سرعت گروه متفاوتی خواهند داشت و این امر طول مؤثر اندرکنش را محدود می کند و یک ایراد عمده برای EIT محسوب می شود.</p> <p>برای برطرف کردن این ایراد در طراحی سوئیچ از شفافیت القایی دوقطبی (DIT) و اندرکنش نقطه کوانتومی و کاواک (CQED) استفاده می نماییم. در تحقق سوئیچ از محیط فوتونیک کریستال و نقطه کوانتوم تزریق شده در کاواک الکترو دینامیک کوانتومی استفاده می شود. سوئیچ تمام نوری قابل کنترل</p>	

از یک محیط غیرخطی سریع (کریستال‌های فوتونیک) و کاواک الکترودینامیک کوانتومی شامل یک نقطه کوانتومی، کوپل شده با دو موجبر نوری تشکیل شده است.

نانوکریستال تزریق شده در فوتونیک کریستال کاواک را سیستم اتمی سه، چهار و پنج ترازه در نظر گرفته و سوئیچ نوری پیشنهادی را با روش تمام کوانتومی مطالعه کرده‌ایم.

با استفاده از هامیلتونین سیستم، معادلات هایزنبرگ مربوط به مشتقات زمانی عملگرها را بدست آورده و با حل عددی این معادلات به روش FDTD پاسخ زمانی سیستم را به دست آورده‌ایم. با استفاده از رفتار زمانی سوئیچ، سرعت کلیدزنی را برای حالت‌هایی که نانو کریستال تزریق شده در کاواک سیستم سه ترازه، چهار ترازه و یا پنج ترازه باشد بررسی نموده و با هم مقایسه کرده‌ایم.

همچنین فاز یکی از میدان‌های کنترلی را نسبت به سیگنال پروب تغییر داده و اثرات آنرا بر سیگنال خروجی مورد بررسی قرار داده‌ایم.

در مرحله بعد با توجه به کاربرد وسیع سوئیچ در زمینه پردازش اطلاعات تمام نوری، با استفاده از سوئیچ موردنظر سوئیچ تمام نوری قابل کنترل 1×8 با استفاده از شفافیت القائی دوقطبی طراحی کرده‌ایم که می‌تواند در طراحی مالتی پلکس‌های WDM و مسیریاب‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

این پایان نامه شامل سه فصل است که در فصل اول به مقدمه‌ای در مورد سوئیچ نوری و پدیده شفافیت القائی دوقطبی و مروری بر کارهای انجام گرفته در این زمینه پرداخته‌ایم و در فصل دوم روابط حاکم بر کاواک الکترودینامیک کوانتومی و سوئیچ براساس شفافیت القائی دوقطبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در فصل سوم نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB گنجانده شده است.

فهرست مطالب

چکیده

فصل اول

- ۲
- ۲-۱-۱- مقدمه
- ۴-۲-۱- مروری بر کارهای انجام گرفته
- ۶-۳-۱- انواع سوئیچ‌های نوری
- ۶-۱-۳-۱- سوئیچ اپتومکانیکی
- ۶-۲-۳-۱- سیستم‌های میکروالکترومکانیکی
- ۷-۳-۳-۱- سوئیچ الکترواپتیک
- ۷-۴-۳-۱- سوئیچ ترمواپتیک
- ۸-۵-۳-۱- سوئیچ کریستال مایع
- ۸-۶-۳-۱- سوئیچ حباب
- ۹-۷-۳-۱- سوئیچ اکوستواپتیک
- ۱۰-۸-۳-۱- سوئیچ‌های تقویت کننده نوری نیمه هادی (SOAs)
- ۱۰-۹-۳-۱- سوئیچ با شفافیت القائی الکترومغناطیسی
- ۱۲-۴-۱- اندرکنش نور با ماده
- ۱۲-۱-۴-۱- پدیده جذب نور
- ۱۲-۲-۴-۱- گسیل خوبخودی
- ۱۲-۳-۴-۱- گسیل تحریک شده

۱۳	۵-۱- اثر غیرخطی کر
۱۴	۶-۱- فرآیندهای همدوسی
۱۴	۱-۶-۱- اثر آتلاز تاونس
۱۵	۲-۶-۱- اثر اشتراک
۱۵	۳-۶-۱- حالت های تاریک
۱۶	۴-۶-۱- شفافیت القائی الکترومغناطیسی EIT
۱۶	۷-۱- فتونیک کریستال
۱۹	۱-۷-۱- ضریب کیفیت کاواک فتونیک کریستال
۲۰	۸-۱- کاواک کوانتوم الکترودینامیکی CQED
۲۴	۱-۸-۱- شکافت مد کاواک (mode splitting)
۲۶	۹-۱- شفافیت القائی دوقطبی
۲۶	۱-۹-۱- شفافیت القائی دوقطبی در سیستم فیلتری کاواک تزویج شده به موجبر.
۲۹	۲-۹-۱- اثر غیرخطی کر با استفاده از شفافیت القائی دوقطبی در کاواک یک طرفه
۳۲	۳-۹-۱- کلیدزنی تمام نوری با استفاده از الکترودینامیک کوانتومی موجبر تزویج شده به کاواک.
۳۵	۴-۹-۱- سوئیچ براساس شفافیت القائی دوقطبی

فصل دوم

- ۳۹ ۱-۲-۱- استخراج هامیلتونین سیستم برحسب اپراتورهای میدان
- ۴۲ ۲-۲-۲- رابطه ورودی - خروجی کاواک های نوری
- ۴۲ ۲-۲-۱- رابطه ورودی - خروجی کاواک یک طرفه
- ۴۴ ۲-۲-۲- رابطه ورودی - خروجی کاواک دو طرفه
- ۴۶ ۲-۳- تحلیل دینامیکی سیستم
- ۴۶ ۲-۳-۱- سوئیچ با سیستم اتمی سه ترازه تزریق شده به کاواک
- ۴۹ ۲-۳-۱-۱- معادلات حرکت سوئیچ با سیستم اتمی سه ترازه
- ۴۹ ۲-۳-۲- پاسخ تحلیلی سوئیچ
- ۴۹ ۲-۳-۳- تحلیل دینامیکی سوئیچ با سیستم اتمی چهار ترازه تزریق شده به کاواک
- ۵۲ ۲-۳-۳-۱- معادلات حرکت سوئیچ با سیستم اتمی چهار ترازه
- ۵۳ ۲-۳-۴- تحلیل دینامیکی سوئیچ با سیستم اتمی پنج ترازه تزریق شده به کاواک
- ۵۷ ۲-۳-۴-۱- معادلات حرکت سوئیچ با سیستم اتمی پنج ترازه
- ۵۸ ۲-۴- طراحی سوئیچ تمام نوری کنترل پذیر 1×8 با تکنیک DIT
- ۶۰ ۲-۴-۱- تابع انتقال خروجی های مختلف سوئیچ 1×8

فصل سوم

نتایج شبیه سازی

- ۶۴ ۳-۱- سرعت کلیدزنی
- ۶۴ ۳-۱-۱- سرعت کلیدزنی سیستم اتمی سه ترازه تزویج شده با کاواک QED

۶۸	۳-۱-۲- سرعت کلیدزنی سیستم اتمی چهار ترازه توزیج شده با کاواک
۷۰	۳-۱-۳- سرعت کلیدزنی سیستم اتمی پنج ترازه توزیج شده با کاواک
۷۲	۳-۲- اثر تغییر فاز میدان کنترلی
۷۲	۳-۲-۱- اثر تغییر فاز میدان کنترلی بر تابع انتقال سیستم اتمی سه ترازه
۷۴	۳-۲-۲- اثر تغییر فاز میدان کنترلی بر تابع انتقال سیستم اتمی چهار ترازه
۷۶	۳-۲-۳- اثر تغییر فاز میدان کنترلی بر تابع انتقال سیستم اتمی پنج ترازه
۸۰	۳-۳- سوئیچ تمام نوری 1×8 قابل کنترل با تکنیک DIT
۸۷	نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۸	منابع

فهرست شکلها :

- شکل ۱-۱ : سوئیچ میکروالکترومکانیکی. ۶
- شکل ۲-۱ : سوئیچ ترموپاتیکی 2×2 از نوع ماخ - زندر. ۷
- شکل ۳-۱ : سوئیچ کریستال مایع . ۸
- شکل ۴-۱ : سوئیچ حباب. ۹
- شکل ۵-۱ : الف - تغییرات متناوب ضریب شکست در مقایسه با امواج صوتی را نشان می دهد ب- نحوه کلیدزنی سوئیچ اکوستوپاتیکی را نشان می دهد. ۱۰
- شکل ۶-۱ : اتم سه ترازه برای محیط EIT. ۱۱
- شکل ۷-۱ : اندرکنش نور با ماده الف) جذب نور ب) گسیل خودبه خود پ) گسیل تحریک شده. ۱۳
- شکل ۸-۱ : الف) شکاف در طیف جذب ناشی از اثر آتلرتاونس. ب) تقسیم یک ترازه به دو تراز جدید. ۱۴
- شکل ۹-۱ : طرح سیستم اتمی سه ترازه نوع لامبدا که در تحلیل حالت های تاریک مورد استفاده قرار گرفته است. ۱۵
- شکل ۱۰-۱ : طرح های سیستم اتمی سه ترازه . الف) نردبانی . ب) مدل V . پ) مدل لامبدا Λ ۱۷
- شکل ۱۱-۱ : الف) فتونیک کریستال با شبکه مکعبی . ب) فتونیک کریستال با شبکه مثلثی. ۱۷
- شکل ۱۲-۱ : الف) نقص خطی در شبکه فتونیک کریستال ب) نقص نقطه ای. ۱۸
- شکل ۱۳-۱ : کاواک الکترودینامیک با اتم تزویج شده با کاواک. ۲۱
- شکل ۱۴-۱ : الف) تصویر کاواک کوانتوم الکترودینامیک پ) تزویج شدید : تزویج < تلفات ۲۲

مورد نیاز می‌باشد طوری که شکافت سطوح انرژی Ω_0 بیشتر از پهن شدگی سطوح ناشی از

طول عمر محدود کاواک واتم یعنی $(\Gamma_{cav} + \Gamma_{at})/2$ باشد.

شکل ۱-۱۵: ضریب انتقال نرمالیزه شده در واحد متوسط تعداد فوتون‌ها در کاواک برای تعداد مختلف اتم در کاواک. منحنی‌های a-c داده‌های تئوری به ازای تغییرات در تعداد اتم‌ها و مکان هستند.

شکل ۱-۱۶: کاواک QED تزویج شده با موجبر به عنوان فیلتر نوری.

شکل ۱-۱۷: ضریب انتقال بدون حضور دوقطبی در کاواک (b) ضریب انتقال در حضور دوقطبی (c) فازمیدان خروجی.

شکل ۱-۱۸: کاواک تزویج شده با تک دوقطبی که برای مطالعه شیفت فازی ایجاد شده در میدان انعکاس یافته به کار می‌رود.

شکل ۱-۱۹: ضریب انعکاس کاواک به ازای مقادیر مختلف ضریب تزویج دوقطبی با کاواک.

$$Q=10000, g=0.15\text{THz}, \kappa=0.1\text{THz}, \gamma=6\text{THz}, (c, g=0.33\text{THz} (b, g=0(a$$

شکل ۱-۲۰: شیفت فازی میدان پس از انعکاس از سطح.

شکل ۱-۲۱: کاواک تزویج شده با موجبر شامل اتم چهار ترازه نوع N.

شکل ۱-۲۲: ضریب انعکاس موجبر برای اتم سه ترازه با پارامترهای $\Gamma_w = 21.5 \text{ GHz}$ و $g_{13}/\Omega_c = 2$.

شکل ۱-۲۳: ضریب انعکاس و جذب در غیاب و در حضور میدان کنترلی.

شکل ۱-۲۴: سوئیچ نوری کنترل پذیر در سیستم کاواک موجبر. در غیاب میدان کنترلی میدان پروب در موجبر اولیه انتشار می‌یابد و با حضور میدان کنترلی، میدان پروب به موجبر دیگر

منتقل می شود.

۳۶ شکل ۱-۲۵: عدم تنظیم Δ در اتم سه ترازه ناشی از اثر اشتراک.

۳۶ شکل ۱-۲۶: ضریب انتقال میدان پروب برحسب فرکانس رابی.

شکلهای به کار رفته در فصل دوم

۴۲ شکل ۲-۱: کاواک یک طرفه با عملگر میدان ورودی a_{in} و میدان داخل کاواک c .

۴۵ شکل ۲-۲: کاواک دو طرفه با دو میدان ورودی.

۴۶ شکل ۲-۳: کاواک کوپل شده به موجبر با سیستم اتمی سه ترازه تزویج شده با کاواک، میدان

کنترلی در راستای محور Z عمود به سطح کاواک اعمال می شود.

۵۰ شکل ۲-۴: کاواک QED با نقطه کوانتومی چهار ترازه تزویج شده با کاواک.

۵۳ شکل ۲-۵: سوئیچ براساس شفافیت القائی دوقطبی با نانوذره پنج ترازه تزریق شده در داخل

کاواک.

۵۹ شکل ۲-۶: آرایه سوئیچ 1×8 .

شکلهای به کار رفته در فصل سوم

۶۵ شکل ۳-۱: میدان کنترلی با دامنه نرمالیزه شده است.

۶۵ شکل ۳-۲: تابع انتقال سیستم اتمی سه ترازه برحسب زمان با میدان کنترلی قطار پالس مربعی

۶۶ شکل ۳-۳: بخشی از تابع انتقال بزرگنمایی شده است تا سرعت کلیدزنی اندازه گیری شود.

۶۸ شکل ۳-۴: تابع انتقال برحسب زمان برای سوئیچ چهار ترازه تزویج شده با کاواک.

۶۹ شکل ۳-۵: بزرگنمایی بخشی از تابع انتقال سیستم چهار ترازه.

- شکل ۳-۶: تابع انتقال برحسب زمان برای سوئیچ با سیستم اتمی پنج ترازه. ۷۰
- شکل ۳-۷: بزرگ‌نمایی بخشی از تابع انتقال سیستم پنج ترازه. ۷۱
- شکل ۳-۸: اثر تغییر فاز میدان کنترلی سوئیچ با سیستم اتمی سه ترازه در بازه صفر تا $\pi/4.5$. ۷۲
- شکل ۳-۹: اثر تغییر فاز میدان کنترلی سیستم اتمی سه ترازه در بازه $\pi/4$ تا $3\pi/4$. ۷۳
- شکل ۳-۱۰: اثر تغییر فاز میدان کنترلی سیستم اتمی چهار ترازه در بازه صفر تا $\pi/5$. ۷۴
- شکل ۳-۱۱: اثر تغییر فاز میدان کنترلی با سیستم اتمی چهار ترازه در بازه $\pi/4.5$ تا $3\pi/4$. ۷۵
- شکل ۳-۱۲: اثر تغییر فاز میدان کنترلی سوئیچ با سیستم اتمی پنج ترازه در بازه صفر تا $\pi/4.5$. ۷۶
- شکل ۳-۱۳: اثر تغییر فاز میدان کنترلی سیستم اتمی پنج ترازه در بازه $\pi/4$ تا $3\pi/4$. ۷۶
- شکل ۳-۱۴: اثر تغییرات پیوسته فاز میدان کنترلی بر تابع انتقال سیستم سه ترازه. ۷۷
- شکل ۳-۱۵: اثر تغییرات پیوسته فاز میدان کنترلی بر تابع انتقال سیستم چهار ترازه. ۷۸
- شکل ۳-۱۶: اثر تغییرات پیوسته فاز میدان کنترلی بر تابع انتقال سیستم پنج ترازه. ۷۹
- شکل ۳-۱۷: (الف-پ) توابع انتقال خروجی‌های مختلف (ج) فاز سیگنال خروجی در حالتی ۸۱

که فقط میدان کنترلی E_{c1} فعال باشد. با پارامترهای

$$g=0.33\text{THz}, \kappa=0.1\text{THz}, \Gamma=1\text{GHz}, \Delta=10\text{GHz}, \Delta_{13}=0, \Omega_1=10\text{GHz}, \Omega_2=\Omega_3=0$$

- شکل ۳-۱۸: (الف - ب) توابع انتقال خروجی‌های مختلف (پ) فاز سیگنال خروجی در ۸۳

حالتی که هر دو سیگنال کنترلی E_{c1} و E_{c2} فعال باشند.

$$g=0.33\text{THz}, \kappa=0.1\text{THz}, \Gamma=1\text{GHz}, \Delta=10\text{GHz}, \Delta_{13}=0, \Omega_1=\Omega_2=10\text{GHz}, \Omega_3=0$$

- شکل ۳-۱۹: (الف) توابع انتقال خروجی‌های مختلف (ب) فاز سیگنال خروجی در ۸۵
- حالتی که هر سه سیگنال کنترلی E_{c1}, E_{c2}, E_{c3} فعال باشند.

$$g=0.33\text{THz}, \kappa=0.1\text{THz}, \Gamma=1\text{GHz}, \Delta=10\text{GHz}, \Delta_{13}=0, \Omega_1=\Omega_2=\Omega_3=10\text{GHz}$$

فهرست جدول‌ها

۵۹	جدول ۱-۲ : نحوه عملکرد سوئیچ 1×8 .
۶۶	جدول ۱-۳ : پارامترهای به کار رفته در شبیه سازی سیستم سه ترازه.
۶۸	جدول ۲-۳ : پارامترهای به کار رفته در شبیه سازی سیستم چهار ترازه.
۷۰	جدول ۳-۳ : پارامترهای به کار رفته در شبیه سازی سیستم پنج ترازه .
۸۶	جدول ۴-۳ : مقادیر هم‌شنوایی مربوط به پورت‌های خروجی سوئیچ 1×8 .

فصل اول

مقدمه و پیشینه پژوهشی

نیاز روز افزون به انتقال حجم وسیع اطلاعات باعث توسعه شبکه‌های نوری شده است که با به کارگیری WDM^۱ می‌توانند به ظرفیت‌های بالاتر دست یابند. این سامانه‌ها قادرند چندین طول موج مختلف را در هر فیبر منتقل کنند.

تاکنون سوئیچ‌زنی در این سیستم‌ها به صورت تمام الکترونیکی انجام گرفته است. در هر سوئیچ‌زنی ابتدا سیگنال‌های نوری به الکتریکی تبدیل می‌شوند (تبدیل O/E)^۲ و عملیات ذخیره‌سازی و سوئیچ-زنی به صورت الکترونیکی انجام می‌پذیرد و مجدداً بعد از تبدیل به سیگنال نوری در مسیر دیگری انتشار می‌یابد که بسیار زمان‌بر است. سوئیچ‌زنی الکترونیکی فناوری پیچیده‌ای است که مطالعات بسیاری در این زمینه صورت گرفته است. اما با افزایش ظرفیت شبکه این نوع سوئیچ‌زنی جواب‌گوی نیاز شبکه نیست و بهترین جایگزین سوئیچ‌های تمام نوری هستند. مهمترین مزیت سوئیچ‌های تمام نوری آنست که مسیره‌دهی سیگنال‌های نوری بدون تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی انجام می‌پذیرد. بنابراین مستقل از سرعت و پروتکل داده هستند. سوئیچ‌زنی نوری باعث کاهش تجهیزات شبکه و افزایش سرعت و در نتیجه افزایش ظرفیت شبکه و کاهش توان مصرفی می‌شود. همچنین حذف تبدیلات E/O^۳ و O/E هزینه‌های سامانه را کاهش می‌دهد.

سه روش عمده برای تبدیل عملکرد سوئیچ‌زنی از الکترونیکی به نوری OPS^۴، GMPLS^۵ و OBS^۶ می‌باشند.

-
1. Wavelength division multiplexing
 2. Optical to electrical conversion
 3. Electrical to optical conversion
 4. Optical packet switching
 5. Generalized multiprotocol label switching
 6. Optical burst switching

سوئیچ‌های تمام نوری با سرعت بسیار بالا و مصرف توان پایین نقش مهمی در شبکه‌های نوری آینده خواهند داشت. اخیراً تحقیقات زیادی برای طراحی ادوات تمام نوری جهت پردازش نوری صورت گرفته است و به ویژه سعی شده است از خواص غیرخطی نور مانند EIT¹ استفاده شود. اما به دلیل مشکل عدم تطابق سرعت گروه در EIT یکی از بهترین جایگزین‌ها شفافیت القایی دو قطبی DIT² و به کارگیری کاواک الکترودینامیک کوانتومی CQED³ می‌باشد. خواص غیرخطی نور با محبوس شدن فوتون در داخل کاواک تقویت می‌شود.

واکس و ووکویچ⁴ شفافیت القایی دوقطبی را در سیستم کاواک فتونیک کریستال کوپل شده به موجبر بررسی کرده و نشان دادند با تزریق نقطه کوانتومی⁵ دو ترازه در داخل کاواک می‌توان مسیر انتشار میدان نوری را از یک موجبر به موجبر دیگر سوئیچ کرد. در این حالت شفافیت به دلیل تداخل مخرب میدان کاواک است که از ورود میدان به داخل کاواک جلوگیری می‌کند.

با تزریق نانو ذرات چند ترازه به کاواک الکترودینامیکی و بهره‌مندی از خاصیت شیفت اشتارک سوئیچ کنترل پذیر تمام نوری طراحی می‌شود، که به دلیل وجود نقاط کوانتومی این سوئیچ‌ها از سرعت عملکرد مناسب برخوردار خواهند بود.

ساخت کاواک CQED با ضریب کیفیت بالا با استفاده از فناوری نیمه‌هادی بسیار مشکل است. این سیستم‌ها مثل کاواک فتونیک کریستال کوپل شده به نقاط کوانتومی معمولاً دارای تلفات زیادی هستند که طول عمر کاواک را کاهش می‌دهد. ولی با توجه به اینکه سوئیچ‌زنی در کاواک با ضریب کیفیت پایین انجام می‌گیرد (شدت تزویج بین دوقطبی و کاواک کمتر از نرخ میرایی کاواک است) ، در نتیجه سوئیچ با تکنیک DIT کاربرد ویژه‌ای در صنعت نیمه‌هادی و مواد حالت جامد خواهد داشت.

-
1. Electromagnetically induced transparency
 2. Dipole induced transparency
 3. Cavity Quantum Electrodynamics
 4. Edo Waks and Jelena Vuckovic
 5. Quantum Dot

۱-۲- مروری بر کارهای انجام گرفته

تکنولوژی سوئیچ نوری از اوایل دهه ۱۹۷۰ شکل گرفت و با اختراع لیزر در سال ۱۹۶۰ و به کارگیری فیبر نوری در انتقال اطلاعات مخابراتی نیاز به سوئیچ نوری افزایش یافت. با نیاز روزافزون به انتقال حجم وسیع اطلاعات و ایده به کارگیری شبکه‌های مخابراتی تمام نوری از دهه ۱۹۹۰ تحقیقات وسیعی در زمینه طراحی ادوات نوری مخصوصاً سوئیچ‌های تمام نوری صورت گرفته است. تعدادی از مطالعات و تحقیقات در این زمینه به صورت زیر است :

در سال ۱۹۹۷ هریس^۱ به بهبود رفتار غیرخطی با استفاده از EIT در سیستم اتمی سه ترازه پرداخت [۱].

بررسی‌های اشمیت و امام‌گلو^۲ روی سیستم اتمی چهار ترازه نوع N امکان تقویت خواص غیرخطی مانند مدولاسیون فاز دو میدان نوری را در رژیم EIT ایجاد کرد [۳و۲].

در سال ۱۹۹۸ هریس و یاماموتو^۳ سوئیچ کوانتومی با سیستم اتمی چهار ترازه نوع N طراحی کردند که دو فوتون را جذب می‌کرد. در این سیستم ها افزودن تراز اتمی چهارمی به سیستم سه ترازه اندرکنش غیرخطی بین میدان سوم و میدان پروب ایجاد می‌کند و فوتون‌های یک میدان نوری فوتون‌های میدان دیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. [۴-۶].

در سال ۱۹۹۸ کیمبل^۴ نشان داد که اثرات غیرخطی با استفاده از کاواک QED بیشتر می‌شود [۷]. همچنین در دهه ۱۹۹۰ تحقیقات بسیاری در زمینه کاواک فتونیک کریستال برای QED انجام گرفته است. در سال ۲۰۰۶ واکس و ووکویچ^۵ به بررسی اثرات غیرخطی کر در کاواک یک طرفه پرداختند. همچنین با استفاده از سیستم اتمی دو ترازه در داخل کاواک به طراحی فیلتر با تکنیک شفافیت القایی دو قطبی DIT پرداختند [۸].

1.S.E. Harris

2.H. Schmidt, A. Imamoglu.

3.S.E. Harris, Y. Yamamoto

4.H. J. Kimble

5.Edo Waks and Jelena Vuckovic

آنتون، کارنو، اسکار، کالدرون، میل و گونزالو^۱ در سال ۲۰۰۶ سوئیچ تمام نوری در سیستم اتمی چهارترازه نوع Λ طراحی نمودند [۹] و در سال ۲۰۰۸ سوئیچ نوری کنترل پذیر در سیستم اتمی پنج ترازه نوع $N-\Lambda$ پیشنهاد دادند. این سیستم پنج ترازه ترکیبی از سیستم سه ترازه نوع Λ و سیستم چهار ترازه نوع N است [۱۰].

برمل و رودریگز و جانسون^۲ در سال ۲۰۰۶ به طراحی سوئیچ نوری تک فوتونه با استفاده از الکتروپدینامیک کوانتومی کاواک-موجبر پرداختند [۱۱].

در سال ۲۰۰۷ گارنیر و سیمون^۳ خواص نوری غیرخطی ناشی از اندرکنش سیستم دو ترازه با کاواک در رژیم پیورسل را بررسی نمودند [۱۲].

ون لای، هنگ لی و یانگ^۴ در سال ۲۰۰۸ با استفاده از نقطه کوانتومی سه ترازه تزریق شده در کاواک براساس DIT سوئیچ تمام نوری طراحی کردند [۱۳].

1.M.A. Antn, F. Carreo, Oscar G. Caldern , S. Melle, I. Gonzalo

2.Peter Bermel, Alejandro Rodriguez, Steven G. Johnson

3.Alexia Auffèves-Garnier, Christoph Simon

5.Wen-Xi Lai,Hong-Cai Li,Rong-Can Yang

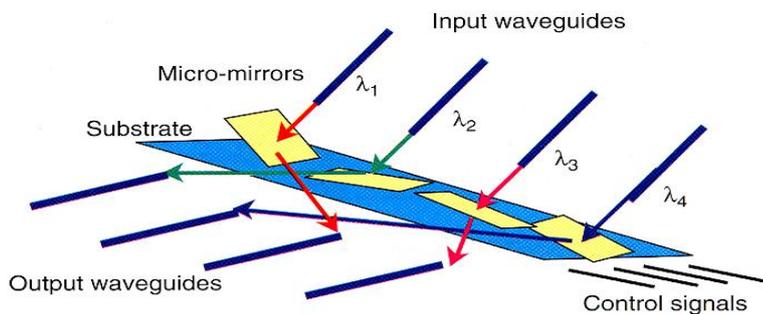
۳-۱- انواع سوئیچ‌های نوری

۱-۳-۱- سوئیچ اپتومکانیکی

اولین سوئیچ‌های نوری تجاری از این نوع بوده اند در سوئیچ‌های اپتومکانیکی عملیات سوئیچ‌زنی به صورت مکانیکی با استفاده از منشور، آینه و یا کوپلرها انجام می‌گیرد. این سوئیچ‌ها تلفات داخلی و هزینه تولید کمی دارند. اما سرعت سوئیچینگ در حد میلی ثانیه می‌باشد [۱۴].

۱-۳-۲- سوئیچ‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS)^۱

این ادوات زیرمجموعه‌ای از سوئیچ‌های اپتومکانیکی هستند. MEMS از آینه‌های بسیار کوچک برای هدایت پرتوهای نور به پورت مورد نظر تشکیل یافته‌اند و در دو نوع مختلف وجود دارند: دو بعدی یا دیجیتالی و سه بعدی یا آنالوگ. در نوع دو بعدی مطابق شکل ۱-۱ ماتریسی از آینه‌ها وجود دارد و پرتو نور ورودی از طریق پورت‌های ورودی به سطح آینه‌ها تابیده می‌شود. زمانیکه سیگنال مربوط به آینه‌ای فعال شود با زاویه ۴۵ درجه انحراف می‌یابد و پرتو نور را به پورت مورد نظر هدایت می‌کند. در نوع سه بعدی یک آینه متحرک به هر کدام از پورت‌های ورودی و خروجی اختصاص داده شده است. با انحراف هر دو آینه به طور مستقل می‌توان مسیر ارتباط بین هر پورت ورودی و خروجی ایجاد کرد. در این حالت آینه‌ها به طور آنالوگ عمل می‌کنند و می‌توانند در دو جهت دوران کنند [۱۵ و ۱۶].



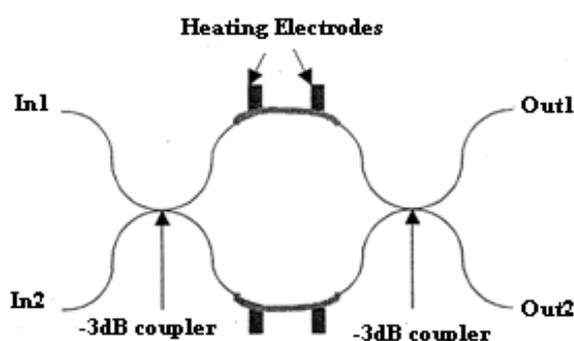
شکل ۱-۱: سوئیچ میکروالکترومکانیکی.

۱-۳-۳- سوئیچ الکترواپتیک

در این سوئیچ با اعمال ولتاژ الکتریکی به الکترودهای موجود در کوپلرها می توان ضریب شکست ماده را تغییر داد. تغییر در ضریب شکست نور را از موجبر به پورت مورد نظر هدایت می کند. ماده مورد استفاده در این سوئیچها معمولاً LiNbO_3 می باشد. این سوئیچها قادر به تغییر وضعیت در عرض چند میکرو ثانیه هستند اما به قطبش نور وابسته اند [۱۵، ۱۷ و ۱۸].

۱-۳-۴- سوئیچهای ترمواپتیک

در این نوع سوئیچها تغییر در ضریب شکست ماده ناشی از تغییرات دما می باشد. مطابق شکل ۲-۱ در روش ماخ-زندر^۱ اگر یکی از شاخهها حرارت داده شود ضریب شکست مربوط به آن تغییر می کند و باعث ایجاد اختلاف فاز بین پرتو نور انتشاری در دو شاخه بالایی و پایینی می شود و بر حسب اینکه دو پرتو تداخل سازنده داشته باشند یا ویرانگر توان در خروجی مورد نظر به کمترین یا بیشترین حد خود خواهد رسید [۱۴، ۱۹ و ۲۰].



شکل ۲-۱: سوئیچ ترمواپتیک 2×2 از نوع ماخ-زندر^۱ [۱۴].