

Схема поляризационного разнесения для полупроводниковых оптических усилителей на квантовых точках

The scheme of polarization allocation for semiconductor optical amplifiers with quantum dots

Тусупов А.Д.

Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева, Алматы (e-mail: tussupov@gmail.com)

Жартылай өткізгіштік оптикалық күшейткіштер саласындағы зерттеулер және наноөлшемді гетероқұрылымдармен жасалынған құралдар әр түрлі техника және ғылымдарға үлкен әсер етіп жатыр. Кванттық нүкте, жартылай өткізгіштік оптикалық күшейткіштер оптикалық коммуникация технологиясында қолдануына үлкен үміт беретін құралдар. Коммерциялық қолдануы үшін тек бір ғана кемшілігі бар. Олар поляризацияның өзгеруіне сезімді. Мақалада кванттық нүкте жартылай өткізгіштік оптикалық күшейткіштердің поляризациялық сезімдігін азайту үшін поляризация айырма үлгісі берілген.

The researches of semiconductor optical amplifiers and heterostructures of nanodimensions have been more influence to many areas of techniques and sciences. Quantum dot semiconductor optical amplifiers (QD-SOA) are promising devices for optical communication technology. For commercial using they have one disadvantage. They are polarization sensitive. In this paper author constructed a polarization diversity scheme to avoid polarization sensitivity of QD-SOAs.

Имеется одно технологическое отличие XXI в. от XX в.: электроны и кремний в XX в. рассматривались как основа для технического прогресса, а XXI в. ознаменовался веком фотонов и нанотехнологий. Качественный переход от промышленного производства к информационной технологии, от кремния к нанотехнологиям, от электрона к фотону ставит задачу исследования области, которая объединяет нанотехнологию и оптоэлектронику.

Свет и его квантовые частицы, фотоны, являются символом современности в области информационных и коммуникационных технологий. Передача потока информации в виде света по волоконно-оптическим линиям связи — на сегодняшний день самый современный и качественный способ. Высокая пропускная способность оптического волокна позволяет передавать информацию на высокой скорости, недостижимой для других систем связи.

При передаче информационного сигнала на большие расстояния в оптическом волокне сигнал затухает. Для усиления сигнала используются оптические усилители. Оптический усилитель — это устройство, которое усиливает оптический сигнал напрямую, без необходимости преобразования света в электрический сигнал. Существуют различные типы оптических усилителей, которые показывают высокий потенциал в качестве линейных усилителей:

- оптоволоконные усилители, легированные редкоземельными элементами, такими как: эрбий (Er), неодим (Nd), иттербий (Yb), тулий (Tm), празеодим (Pr);
- полупроводниковые оптические усилители (ППОУ): объемные ППОУ, ПОУ на квантовых ямах (ППОУ-КЯ), ППОУ на квантовых нитях (ППОУ-КН), ППОУ на квантовых точках (ППОУ-КТ);
- рамановский усилитель.

Полупроводниковые оптические усилители (ППОУ) являются недорогой альтернативой для усиления и обработки оптических сигналов.

Исследования полупроводниковых оптических усилителей и новые разработки, в особенности связанные с применением наноразмерных гетероструктур — квантовых ям и квантовых точек, обеспечили их применение во многих областях науки и техники. К преимуществам ППОУ относятся простота, дешевизна, гибкость, быстрота и надежность.

Гигабитные пассивные оптические сети (GPON) являются наиболее передовым и последним стандартом PON со скоростью передачи данных в 2,5 Гбит/с для прямого и обратного потока соответственно. Но эта архитектура сети имеет ограниченную физическую длину сети в 20 км, это связано с высокими бюджетными потерями. Такое ограничение доступа делает сеть труднодоступной для

абонентов, расположенных очень далеко от АТС. Следовательно, требуются несколько АТС для обслуживания огромного количества абонентов. С другой стороны, использование оптических усилителей может расширить зону досягаемости GPON до 60 км, что является пределом логической длины по текущим протоколам.

Столь широкий интерес к использованию полупроводниковых оптических усилителей в первую очередь связан с их компактностью и эффективностью — по этим параметрам полупроводниковые оптические усилители имеют огромные преимущества по сравнению со всеми другими типами оптических усилителей.

В течение последних нескольких лет наноструктурные полупроводники изучаются интенсивно. Уменьшение размеров электронной среды или ограничение электронов (или дырок) в активной области приводят к изменению их свойств и к изобретению новых видов ППОУ, таких как квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки.

Полупроводниковые оптические усилители с активной областью на квантовых точках (ППОУ-КТ) имеют локализацию носителей в нульмерном пространстве. Квантовые точки (КТ) реализуются как когерентно-напряженные, бездефектные островки при самоорганизованном эпитаксиальном выращивании гетероструктур несогласованных полупроводников [1]. В принципе у ППОУ-КТ временная характеристика может быть в 1000 раз быстрее, чем у ППОУ-КЯ. Это делает усилитель перспективным для использования в технологиях со скоростью 1 Тбит/с [1]. Среда усиления в КТ показывает уникальные свойства, такие как сверхбыстрое восстановление усиления в порядке (~ 1 пс) [2], значительно широкую спектральную ширину усиления (~ 120 нм) [3], высокий коэффициент усиления (> 25 дБ) [4], низкий коэффициент шума (> 5 дБ) [5], возможности при неохлажденной работе [6], высокий динамический диапазон для входных мощностей (ДДВМ) и высокую устойчивость для пульсирующего трафика [7].

ППОУ используются для усиления модулированных оптических сигналов. Если в область усиления ввести мощный оптический сигнал, то произойдет сильное истощение вынужденного излучения и насыщение коэффициента усиления. Снижение плотности носителей заряда ведет за собой уменьшение усиления активной области и изменения показателя преломления волновода. Если ввести в область усиления модулированный сигнал, то произойдут изменения плотности носителей заряда и динамического коэффициента усиления. Это означает, что коэффициент усиления будет реагировать сравнительно быстро на изменения мощности входного оптического сигнала. Динамический коэффициент усиления может искажать оптический сигнал, так как не может обеспечить приблизительно такое же усиление для всех битов сигнала, и сигнал искажается интерференционным эффектом. Чтобы избежать интерференционного эффекта, время восстановления коэффициента усиления должно быть намного быстрее периода сигнального бита.

Можно использовать ППОУ для одновременного усиления сигналов на разных частотах в системах телекоммуникации WDM, также возможно неискаженное усиление при слабо перекрестных помехах между сигналами на разных частотах (или длинах волн). Перекрестные помехи возникают из-за насыщенности коэффициента усиления и модуляции плотности носителей заряда. Перекрестные помехи из-за насыщенности коэффициента усиления возникают, когда один сигнал насыщает область усиления другого сигнала. Если усилитель работает в режиме ненасыщенного усиления, то вынужденные перекрестные помехи будут малы для насыщенного коэффициента усиления [5]. Перекрестные помехи из-за модуляции плотностей носителей заряда возникают при присутствии на плотности носителей заряда ППОУ двух оптических сигналов на разных частотах, где при наличии разных частот модулируется плотность зарядов. В свою очередь модулированная плотность зарядов, при присутствии другого оптического сигнала, генерирует новые оптические поля на других частотах, как на примере четырехволнового смешения. Новые оптические поля будут взаимодействовать с другими каналами и налаживаться на них в качестве источника шума.

Устройства ППОУ чувствительны к поляризации. Коэффициент усиления зависит от положения поляризации входного электрического поля, так как сечение волновода достаточно узкое и может поддерживать только одну поперечную моду с двумя возможными поляризациями: поперечно электрическую (TE) и поперечно магнитную (TM) моду [3]. Кроме того, среда усиления может усиливать по-разному два состояния поляризации [6]. Также технически возможно достичь области усиления, не зависящего от поляризации.

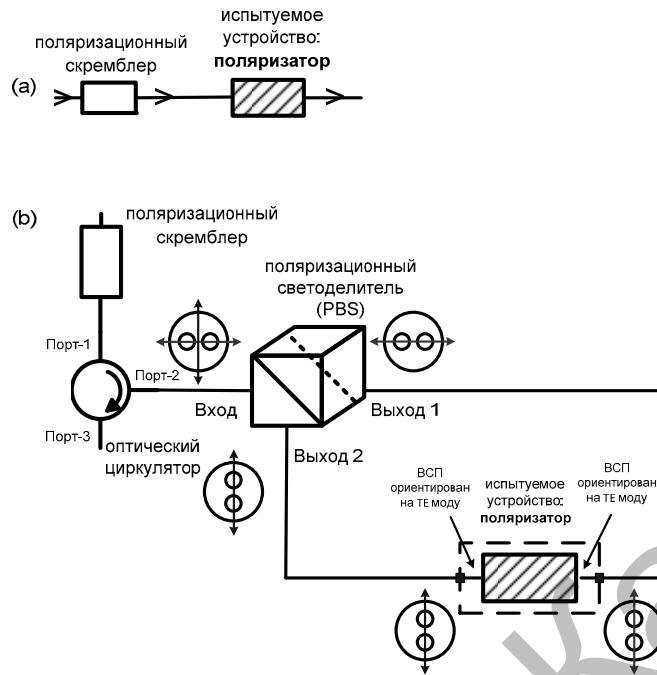


Рис. 1. Экспериментальная установка прямого соединения, включающая в себя поляризационный скремблер и поляризатор — (a); схема поляризационного разнесения, которая состоит из оптического циркулятора, поляризационного светоделителя (PBS) и испытываемого устройства (поляризатор), которые соединены волокном, сохраняющим состояние поляризации (ВСП) — (b)

Существуют различные виды ППОУ, такие как объемные и ППОУ с кванторазмерными слоями (КРС): квантовые ямы (КЯ), квантовые нити (КН) и квантовые точки (КТ).

ППОУ с активной областью на квантовых ямах (ППОУ-КЯ) имеет локализацию носителей в потенциальной яме, где носители передвигаются только в двухмерном пространстве. Эффект квантовой локализации имеет место, когда толщина квантовых ям сопоставима с дебройлевской длиной волны электрона и носители могут иметь только дискретные энергетические значения. По сравнению с объемными ППОУ ППОУ-КЯ имеют более широкую спектральную ширину усиления, высокую выходную мощность насыщения и управляемую поляризационную чувствительность.

В экспериментальной работе [8] по расширению зоны досягаемости сети WDM/TDM GPON до 60 км с использованием полупроводниковых оптических усилителей на квантовых точках определен один недостаток — это чувствительность ППОУ-КТ к изменению состояния поляризации. ППОУ-КТ имеют поляризационную чувствительность около 10 дБ. Следовательно, требуется контроль над состоянием поляризации. В данной работе будем рассматривать одно из возможных решений проблем поляризации в ППОУ-КТ, с помощью схемы поляризационного разнесения, представленной на рисунке 1(б).

Схема поляризационного разнесения состоит из оптического циркулятора, поляризационного светоделителя (PBS, *polarization beam splitter*) и испытываемого устройства, которые соединены между собой волокном, сохраняющим состояние поляризации (ВСП) (рис. 1).

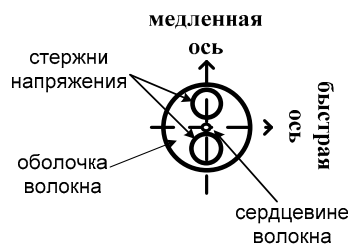


Рис. 2. Поперечное сечение волокна, сохраняющего состояние поляризации (ВСП PANDA). Волокно имеет стержни напряжения на сердцевине, а также быструю и медленную ось

Волокно, сохраняющее состояние поляризации (ВСП), — это вид оптического волокна, где поляризация линейно-поляризованной световой волны сохраняется в процессе распространения. Волокно работает путем стимулирования двулучепреломления в пределах сердцевины волокна. Двулучепреломление создается в ВСП путем стимулирования постоянного напряжения. Двулучепреломление разрывает круговую симметрию, тем самым создавая две оси передач, известные как быстрые и медленные оси (рис. 2). В схеме поляризационного разнесения был использован тип ВСП PANDA.

Принцип работы схемы поляризационного разнесения (рис. 1 (b)): световая волна вводится в порт-1 оптического циркулятора и переправляется в направлении порта-2. Из порта-2 световая волна передается по ВСП по быстрым и медленным осям. В ВСП световая волна разделяется на две ортогональные поляризации. Горизонтально поляризованный свет (*красная ось*) передается через поляризационный светоделитель (PBS) и вводится в медленную ось ВСП. Вертикально поляризованный свет (*синяя ось*) отражается в поляризационном светоделителе и вводится в медленную ось ВСП. На двух концах испытуемого устройства ВСП ориентирован на поперечную электрическую моду. Поляризатор, устройство очень чувствительное к изменению в поляризации, используется как испытуемое устройство вместо ППОУ-КТ. Поляризованный свет проходит через испытуемое устройство и заново соединяется в поляризационном светоделителе. Затем свет выходит из порта-3 оптического циркулятора.

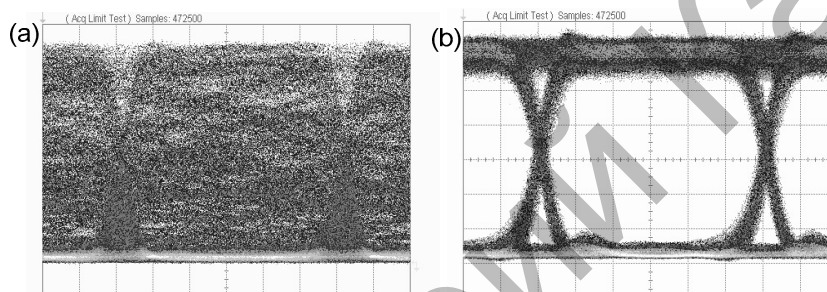


Рис. 3. При прямом соединении глазковая диаграмма показывает сильную поляризационную зависимость из-за передачи световой волны через поляризатор, со случайно измененными состояниями поляризации; изменение состояний поляризации производится поляризационным скремблером — (a); глазковая диаграмма сигнала при использовании схемы поляризационного разнесения, подавляющей поляризационную чувствительность — (b)

Результат использования схемы поляризационного разнесения показан на рисунке 3 (b). Глазковая диаграмма открыта и не изменяется со случайным изменением состояний поляризации. Поляризацию света изменяем, используя поляризационный скремблер и поляризатор, а для сравнения используем результаты при прямом соединении.

Экспериментальная установка прямого соединения состоит из поляризационного скремблера и поляризатора рис. 1 (a). Изменяя состояние поляризации поляризационным скремблером, глазковая диаграмма при прямом соединении показывает сильную поляризационную зависимость (рис. 3 (a)).

Использование схемы поляризационного разнесения подавляет поляризационную чувствительность ППОУ-КЯ в GPON с расширенной зоной досягаемости. Одно из преимуществ данной схемы — то, что она состоит только из пассивных элементов.

Таким образом, с помощью предложенной схемы поляризационного разнесения мы рассмотрели одно из возможных решений проблем поляризации в ППОУ-КТ.

References

1. *Bhattacharya P., Bimberg D., Arakawa Y.* Special Issue on optoelectronic devices Bbased on quantum dots // IEEE — 2007. Sep. — Vol. 95. — No. 9. — P. 1718–1722.
2. *Vallaitis T., Koos C., Bonk R., Freude W., Laemmlin M., Meuer C., Bimberg D., Leuthold J.* Slow and fast dynamics of gain and phase in a quantum dot semiconductor optical amplifier // Opt. Express — 2008. Jan. — Vol. 16. — No. 1. — P. 170–178.

3. Brenot R., Lelarge F., Legouezigou O., Pommereau F., Poingt F., Legouezigou L., Derouin E., Drisse O., Rousseau B., Martin F., Duan G.H. Quantum Dots Semiconductor Optical Amplifier with a -3dB Bandwidth of up to 120 nm in Semi-Cooled Operation // The Proceedings of the Optical Fiber Communication Conference — San Diego, CA, USA, 2008. — Paper OTuC1.
4. Akiyama T., Sugawara M., Arakawa Y. Quantum-dot semiconductor optical amplifiers // IEEE — 2007. Sep. — Vol. 95. — No. 9. — P. 1757–1766.
5. Bimberg D. Quantum dot based nanophotonics and nanoelectronics // Electr. Letters. — 2008. — Vol. 44. — Issue 3. — P. 168.
6. Wang H., Aw E.T., Xia M., Thompson M.G., Pentz R.V., White I.H. Temperature independent optical amplification in uncooled quantum dot optical amplifiers // OFC, OSA Technical Digest (CD) — San Diego, CA, USA, 2008. — Paper OTuC2.
7. Bonk R., Meuer C., Vallaitis T., Sygletos S., Vorreau P., Ben-Ezra S., Tsadka S., Kovsh A.R., Krestnikov I.L., Laemmlin M., Bimberg D., Freude W., Leuthold J. Single and multiple channel operation dynamics of linear quantum-dot semiconductor optical amplifier // ECOC'08. — Brüssel. — Sept. 2008. — Paper Th1.C2.
8. Bonk R., Brenot R., Meuer C., Vallaitis T., Tussupov A., Rode J.C., Sygletos S., Vorreau P., Lelarge F., Duan G.H., Krimmel H.G., Pfeiffer Th., Bimberg D., Freude W., Leuthold J. 1.3/ 1.5 μm QD-SOAs for WDM/TDM GPON with Extended Reach and Large Upstream/Downstream Dynamic Range // Proc. Opt. Fiber Communication Conf. (OFC'09), San Diego, USA; OWQ1, accepted for publication.

Репозиторий КарИ