

## ДАТЧИК МАЛЫХ СМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА ИЛПН-202

Бу Ван Лык, П.Г. Елисеев, М.А. Манько, М.В. Цоцория

*Реализована схема датчика субмикронных смещений на базе серийного лазера ИЛПН-202 и сформулированы требования для его работы.*

Оптоэлектронный сигнал — электрический отклик, возникающий в цепи питания инжекционного лазера при введении внешней обратной оптической связи, исследовался в ряде работ [1-5], причем в [1] продемонстрирована возможность оптоэлектронного считывания при отражении лазерного излучения от носителя информации в активную область лазера, а в [4] показано, что инжекционный лазер на основе GaAlAs/GaAs с внешним зеркалом может служить датчиком продольного (вдоль оси резонатора) смещения внешнего зеркала с чувствительностью 28,5 мВ/мкм. Изучение электрического отклика в лазерах на основе InGaAsP/InP на внешнюю обратную связь проведено в работах [5,6], практическим применением результатов которых явилось исследование возможности использования серийного лазера ИЛПН-202 в схеме датчика малых смещений. Такой датчик состоит из собственно лазера и зондируемой зеркальной поверхности, параллельной выходному окну корпуса лазера и расположенной достаточно близко к нему (предполагается, что длина внешней оптической цепи не превышает длину когерентности излучения). Смещение внешнего зеркала модулирует знак оптической обратной связи, при этом отраженный сигнал интерферирует с полем внутри резонатора и либо усиливает, либо гасит его колебания. Максимальное значение электрического сигнала получается при изменении фазы отраженного от зеркала излучения на  $\pi$ , что соответствует двум различным лазерным режимам — с наибольшей положительной и отрицательной обратными связями.

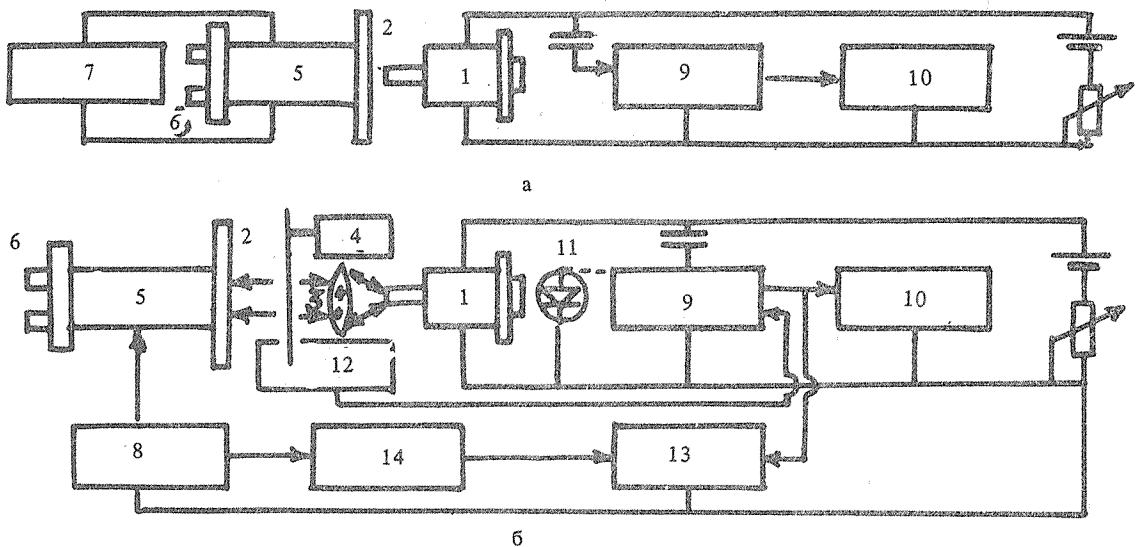


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для исследования возможностей использования серийного лазера ИЛПН-202 в качестве датчика малых смещений (а — для снятия зависимости оптоэлектронного сигнала от тока накачки лазера, б — для снятия зависимости амплитуды сигнала от смещения внешнего зеркала): 1 — лазерный диод, 2 — внешнее зеркало, 3 — микрообъектив, 4 — механический прерыватель, 5 — пьезокерамическая подставка, 6 — микрометрический столик, 7 — генератор импульсного напряжения, 8 — источник постоянного высоковольтного напряжения, 9 — электронный усилитель с синхронным детектором, 10 — осциллограф, 11 — фотодиод, 12 — блок опорного сигнала для синхронного детектора, 13 — двухкоординатный самописец, 14 — делитель напряжения.

Блок-схемы экспериментальных установок приведены на рис. 1. Излучение на длине волны  $\lambda = 1300$  нм со световодного выхода серийного лазера типа ИЛПН-202 (1), накачиваемого постоянным током, направлялось либо непосредственно на внешнее плоское зеркало (2) с коэффициентом отражения 70%, расположенное на расстоянии  $\sim 25$  мкм (рис. 1а), либо через микрообъектив (3) и механический прерыватель (4) (рис. 1б). При этом зеркало могло быть отнесено на большее расстояние ( $\sim 10$  см) без существенной потери амплитуды оптоэлектронного сигнала. Зеркало (2) монтировалось на пьезокерамической подставке (5) и укреплялось на микрометрическом столике (6). В схеме рис. 1а на пьезокерамическую подставку подавалось импульсное напряжение с амплитудой до 50 В, что обеспечивало смещение внешнего зеркала не менее чем  $\lambda/4$ . В схеме рис. 1б смещение внешнего зеркала осуществлялось путем подачи на пьезокерамическую подставку постоянного напряжения (0–600 В). Электрический отклик на внешнюю обратную связь (изменение напряжения на диоде при продольном смещении внешнего зеркала)  $\Delta U$  усиливался электронным усилителем (9) и наблюдался на осциллографе (10). Использование схемы, представленной на рис. 1б (с внешним прерывателем луча), позволяло измерять оптоэлектронный сигнал и изменение в оптическом сигнале, который подавался на фотодиод (11) с другого световодного выхода лазера (1). Электронный усилитель (9) работал в режиме синхронного детектирования, при этом частота опорного сигнала также задавалась механическим прерывателем (4). Регистрация осуществлялась на осциллографе (10) или на двухкоординатном самописце (13), на горизонтальную координату которого подавалось через делитель (14) напряжение с блока питания пьезокерамической подставки.

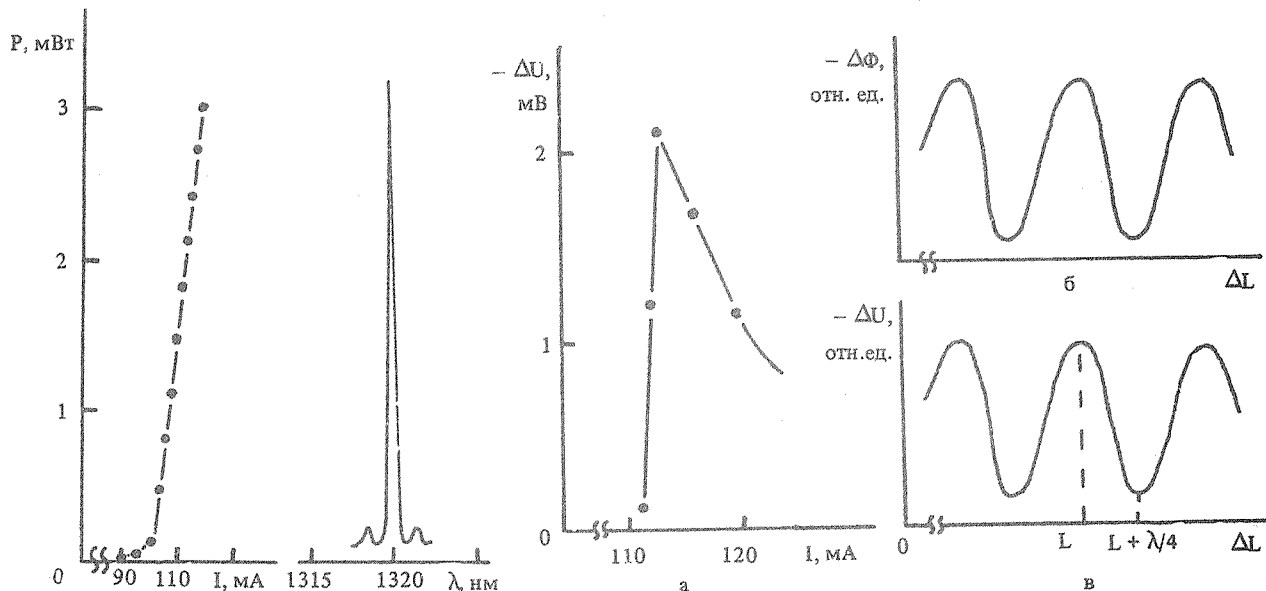


Рис. 2. Выходные характеристики лазерного диода № 022 (а – ватт-амперная, б – спектр излучения).

Рис. 3. Зависимости: электрического отклика  $\Delta U$ , возникающего в цепи питания лазерного диода при смещении внешнего зеркала, от тока накачки  $I$  (а), оптического сигнала  $\Delta\Phi$  (б) и амплитуды электрического отклика  $\Delta U$  (в) от смещения внешнего зеркала  $\Delta L$ .

На рис. 2 представлены выходные характеристики образца № 022: пороговый ток 102 мА,  $\lambda = 1320$  нм, ватт-амперная характеристика линейна, одночастотный спектр сохранялся до 1,5-кратного превышения порога генерации. На рис. 3 показана зависимость электрического отклика  $\Delta U$  от тока накачки при оптимальной настройке, соответствующей продольному смещению внешнего зеркала на  $\lambda/4$  (на пороге генерации сигнал максимален и превышает 2 мВ), и от продольного смещения внешнего зеркала  $\Delta L$  при фиксированном токе накачки, а также изменение оптического сигнала  $\Delta\Phi$ , снимаемого со второго световодного выхода лазера (рис. 1б). Видно, что электрический отклик  $\Delta U$  и изменение оптического сигнала  $\Delta\Phi$  имеют период  $\lambda/2$ , что соответствует изменению фазы отраженного излучения на  $\pi$ . Если при определенном расстоянии  $L$  до внешнего зеркала реализуется положительная обратная связь, то при смещении зеркала на  $\lambda/4$  оптичес-

кий путь во внешней цепи обратной связи изменится на  $\lambda/2$ , что соответствует противофазным колебаниям в резонаторе (отрицательной обратной связи). Линейный участок на кривой изменения  $\Delta U$  приходится на смещение внешнего зеркала  $\Delta L \approx 230$  нм, при этом абсолютная величина электрического отклика  $\Delta U = 2,3$  мВ. Таким образом, на линейном участке чувствительность такого датчика к малым смещениям составляет  $\Delta U/\Delta L \sim 10$  мВ/мкм. Это соответствует субмикронным измерениям смещений при надлежащей стабилизации режима работы лазера. Например, если шумы напряжения позволяют зарегистрировать сигнал  $\sim 10$  мкВ, то измерению доступны смещения  $\sim 10^{-3}$  мкм.

Устройства такого рода могут быть чувствительными датчиками не только смещений, но и других физических величин, переводимых в смещение, — магнитного поля (с помощью магнитострикции), акустических и гипер акустических волн, давления, ускорения.

В отличие от интерферометрических датчиков на газовых лазерах в данном случае устройство существенно проще, компактнее и экономичнее, а также надежнее (ввиду высокой долговечности лазеров на 1300 нм /7/). Особые требования для работы описанного датчика сводятся к следующим: 1) зондируемая плоскость должна быть зеркальной и расположенной нормально к оси лазерного пучка, 2) зазор между торцом лазерного вывода и зондируемой плоскостью (в отсутствие коллиматора) должен быть в интервале 5-50 мкм, 3) ток накачки необходимо удерживать на пороговом уровне, т.е. например, целесообразно стабилизировать ток и температуру лазерного диода (поскольку порог зависит от температуры). Для получения достаточно большого оптоэлектронного сигнала необходим отбор образцов среди серийных лазеров, например, по схеме измерений на рис. 1а. Замечено, что образцы с неоптимальным согласованием лазера со световодным выводом дают слабый оптоэлектронный отклик.

Применение инжекционных лазеров в качестве датчиков смещения основано на чувствительности режима лазера к положению внешнего отражателя в непосредственной близости к торцу лазерного диода, как это было обнаружено еще в первоначальных опытах по составному резонатору /8/. Разновидности датчиков описаны позднее в разных публикациях (см., напр., /9/). Широкому практическому применению подобных датчиков препятствовало то обстоятельство, что в обычных серийных лазерах диод защищен окном, не допускающим манипуляций вблизи торца диода. Для датчиков требовалась переработка устройства лазерного изделия. В новых лазерах со световодным выводом ситуация упрощается, и серийный лазер без переделок и даже без дополнительной оптической оснастки может служить чувствительным датчиком малых смещений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В у В а н Л ы к и др. Квантовая электроника, 9, 1851 (1982).
2. V u V a n L u c et al. IEEE J. Quant. Electron., QE-19, 1080 (1983).
3. В у В а н Л ы к и др. Квантовая электроника, 9, 1825 (1982).
4. В у В а н Л ы к и др. Труды ФИАН, 166, 174 (1986).
5. Е л и с е е в П. Г. и др. Препринт ФИАН № 172, М., 1987.
6. V u V a n L u c et al. Summaries of SELCO'87, Holzgau, GDR, publ. by Zentralinstitut für Optik und Spektroskopie, Berlin, DDR, 1987, p. 14.
7. Б е з о т о с н ы й В. В. и др. Квантовая электроника, 8, 1985 (1981).
8. Е л и с е е в П. Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 9, 594 (1969).
9. M i l e s M. O. et al. Lightwave Technology, 1, 81 (1983).

Поступила в редакцию 1 февраля 1988 г.