

Устройства для многоточечного тензометрирования на базе кристаллов $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$

Г. А. Мамедов^а, Э. М. Годжаев^а, К. Д. Гюльмаммедов^а, М. Т. Дадашов^а, В. Д. Рустамов^б

^аАзербайджанский технический университет,
пр. Г. Джавида, 25, г. Баку, Аз-1000, Азербайджанская Республика, e-mail: geldar-04@mail.ru

^бГянджинский государственный университет,
пр. Шах Исмайыла Хатаи, 187, г. Гянджа, Аз-2000, Азербайджанская Республика

Разработаны устройства для использования при высоких температурах многоточечного тензометрирования на базе новых кристаллов $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ ($0 \leq x \leq 0,04$), позволяющие повысить производительность и надежность результатов измерений при многоточечной тензометрии.

Ключевые слова: многоточечная тензометрия, фотоэлектрические свойства, направленная деформация, звуковой зонд.

УДК 537.226.621.315

Известно, что тензочувствительность материалов, используемая в тензометрии, с увеличением температуры уменьшается. Например, при высокотемпературной тензометрии пригодными считаются тензодатчики из GaAs. Однако с увеличением температуры до 623К коэффициент тензочувствительности уменьшается в 2 раза [1]. Для более распространенных кремниевых тензодатчиков повышение температуры от комнатной до 773К при относительных деформациях $\varepsilon \leq 10^3$ приводит к уменьшению коэффициента их тензочувствительности от 80 до 15.

Наиболее применимые тензодатчики на основе α -SiC, использованные в температурном интервале 373–1073К, обладают низким коэффициентом тензочувствительности ($K = 30$) и уменьшаются с ростом температуры на 5,7%. Таким образом, поиск новых материалов для высокотемпературной тензометрии является актуальной проблемой. С другой стороны, известные способы компенсации температурных нестабильностей, характеристик датчиков при тензометрировании в условиях высоких изменяющихся температур существенно осложняют электронные схемы и оборудование [2–6]. Поэтому необходимо найти более совершенные способы компенсации температурных изменений внешним воздействием света переменной интенсивности. Данное изменение может упростить электронные схемы и обеспечить высокую точность и надежность результатов измерений.

Механические переключатели, устанавливаемые у входа соответствующих каналов тензостанций, не обладают необходимым быстродействием и поэтому лишь частично могут изменить соотношение числа измерительных датчиков и каналов регистрации. Но и при этом проблемой остается использование огромного числа необходимых отводов для передачи от разме-

щенных на объектах испытаний датчиков к соответствующим каналам тензостанций, расположенным, как правило, на расстоянии порядка 30 метров. Наличие такого огромного количества отводов, особенно при динамическом режиме испытания, создает серьезные электрические помехи и часто приводит к заметному искажению регистрируемого тензосигнала. В настоящей работе предлагается новый способ, позволяющий повысить производительности и надежности результатов измерений при многоточечной тензометрии.

С этой целью использованы твердые растворы, выявленные в системе $TlInSe_2 - TlPrSe_2$ [7]. В работах [8–10] исследовались фотоэлектрические свойства и влияние направленной деформации на фотоэлектрические свойства фоторезистора на основе кристаллов $TlIn_{0,98}Pr_{0,02}Se_2$.

В схеме подключения тензодатчиков к каналу регистрации производится путем последовательного зондирования самих датчиков электромагнитным излучением оптического диапазона. Данный способ многоточечной тензометрии отличается тем, что обеспечивает проведение записи по одному-единственному каналу тензометрических информаций от множества точек испытуемой конструкции.

Размещенные в различных точках и параллельно подключенные между собою идентичные датчики посредством одной линии связываются общим для них каналом регистрации. Тензометрическая информация от каждого датчика поступает в общий канал лишь в момент облучения его электромагнитным излучением. Облучение избранного датчика значительно повышает электропроводность и коэффициент тензочувствительности последнего и тем самым «подключает» его к системе регистрации. При перемещении узкого светового зонда соответствующим обра-

зом по участку испытуемой конструкции с тензодатчиками записывается распределение механической нагрузки, напряжения или деформации по координатам размещенных датчиков. Таким образом, данный способ позволяет исключить множество соединительных отводов и помехи от них, сократить число каналов регистрации, уменьшить вес и габариты используемого электронного оборудования при многоточечном тензометрировании.

Устройство содержит параллельно включенные полупроводниковые тензодатчики 1 с идентичными электрическими параметрами (рис. 1).

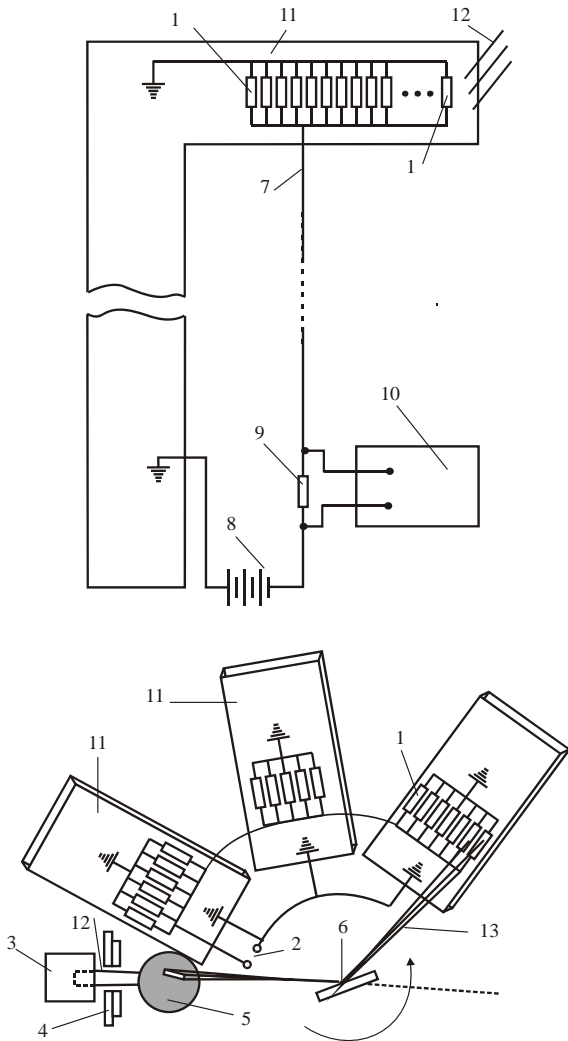


Рис. 1. Схема устройства для многоточечного тензометрирования на основе кристалла $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$.

Один из общих отводов 2 датчиков 1 заземлен на массу испытуемого объекта, а второй общий отвод 7 выполнен в виде экранированного проводника и через нагрузочное сопротивление 9 подключен к источнику постоянного напряжения 8. Устройство для регистрации 10 подключено к нагрузочному сопротивлению 9. В качестве устройства для регистрации 10 (в случае динамического режима измерений) могут быть ис-

пользованы запоминающие осциллографы и быстродействующие самописцы. Устройство снабжения источником электромагнитного излучения 13 создает световой зонд для последовательного «возбуждения» тензодатчиков.

Измерения производят следующим образом: при динамическом режиме измерения зону размещения датчиков 1 помещают в темноту или же освещают нейтральным для датчиков спектром света. Устройство для регистрации 10 настраивают на нулевой сигнал. Затем производят программированное оптическое зондирование тензодатчиков 1 с помощью источника электромагнитного излучения 12 и сканирующего устройства. В момент зондирования отдельного тензодатчика устройство для регистрации 10 избирательно реагирует на сигнал лишь от возбужденного светом тензодатчика.

Избирательное действие зондирующего луча света при этом обуславливается двумя факторами — снижением сопротивления тензодатчика (фоторезистивный эффект) и повышением его коэффициента тензочувствительности (пьезофоторезистивный эффект).

Таким образом, максимально возможное число параллельно подключенных тензодатчиков «п» для одного измерительного канала определяется интенсивностью светового зонда соответствующего спектрального состава, фоточувствительностью материала датчика и величиной пьезофоторезистивного эффекта (то есть эффекта повышения коэффициента тензочувствительности электромагнитным излучением). Элементарные расчеты показывают, что число тензодатчиков на каждый измерительный канал может быть доведено до порядка $10^3 \div 10^5$. Общее сопротивление параллельных «п» датчиков R_0 определяется соотношением

$$\frac{1}{R_0} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i},$$

где r_i — электросопротивление тензодатчика с порядковым номером i . В неосвещенном состоянии (или же при слабом естественном освещении) датчики идентичны и характеризуются одной и той же величиной сопротивления r . Предположим, один из параллельно подключенных датчиков, например n -й, возбуждается световым зондом и приобретает сопротивление r_c , все остальные находятся в невозбужденном (естественном) состоянии, то есть $r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_{n-1} = r \neq r_n = r_c$.

При этом

$$\frac{1}{R_0} = \frac{n-1}{r} + \frac{1}{r_c}.$$

Естественно, что изменение сопротивления зондированного тензодатчика станет заметным,

начиная с уровня возбуждения, достаточного для выполнения условия $\frac{n-1}{r} \approx \frac{1}{r_c}$, если даже не

имел места пьезофоторезистивный эффект. Согласно данному условию число параллельных датчиков $n = \frac{r}{r_c} + 1$, то есть определяется кратностью

изменения темнового (r) и светового (r_c) сопротивлений датчика, что при реально возможных интенсивностях составляет $\frac{r}{r_c} \cong 10^2 \div 10^3$.

Однако число датчиков практически оказывается значительно (10 ÷ 100 раз) больше, чем определенное из указанного выше условия, за счет пьезофоторезистивного эффекта. Так что тензосигнал от освещенного датчика за счет усиления тензочувствительности подавляет аналогичные сигналы от неосвещенных (невозбужденных) датчиков даже при значительном их перевесе, то есть при $\frac{n-1}{r} \gg \frac{1}{r_c}$, следовательно, $n \gg \frac{r}{r_c} + 1$.

Таким образом, из ($0,01 \leq x \leq 0,004$) указанных выше оценок для тензодатчиков на основе кристаллов $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ следует, что практически число параллельных датчиков на один канал регистрации при этом может быть доведено до $10^3 \div 10^5$.

Измерения проводились с использованием полупроводниковых тензодатчиков на основе кристаллов $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$. Упругой подложкой служили прямоугольные стальные ленточки «П» электромагнитного резонатора, идентичные по размерам и электрическим параметрам тензодатчику 1 из кристаллов $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$, десятками размещенные параллельно оси пластинки, через изолирующий слой эпоксидно-крезольный лак ЭП-96.

Этим прозрачным лаком загерметизировали и верхнюю поверхность датчиков. Параллельные между собою датчики при этом чередовались в направлении, перпендикулярном плоскости колебаний, через интервал Δl , который был не меньше ширины самих датчиков t ($0,5 \div 1$ мм).

Упругие пластинки с размещенными параллельными датчиками на испытываемой поверхности (и не указанными в схеме электромагнитными возбудителями) выстроены в радиальном направлении из нормалей по окружности цилиндра 9 с радиусом 10 (30 м) и центром на оси вращения отклоняющего зеркала «П». Монохроматические лучи 12 с длиной $\lambda = 1,06$ мкм от неодимового лазера «33» через фотозатвор 4 и узкую щель 5 попадают на вращающееся зеркало 6. Отраженный от зеркала световой зонд 13, соответствующий площади приемного окна датчиков, перемещаясь по окружности, с определен-

ной последовательностью «возбуждает» на своем пути тензодатчики 1. Свободный верхний конец упругой (стальной) подложки 11 приводится в периодические колебания на частоте резонанса посредством переменного магнитного поля в направлении стрелки (см. рис. 1). Тем самым и датчики на упругой подложке испытывают от нее переменную (синусоидальную) деформацию на той же частоте. В области высоких частот в качестве подложки использованы пьезопластинки соответствующей формы. При макетном испытании переменные деформационные сигналы от каждого датчика в момент его освещения («зондирования») записаны как частный случай по электрической схеме на рис. 1 быстродействующим самописцем 10.

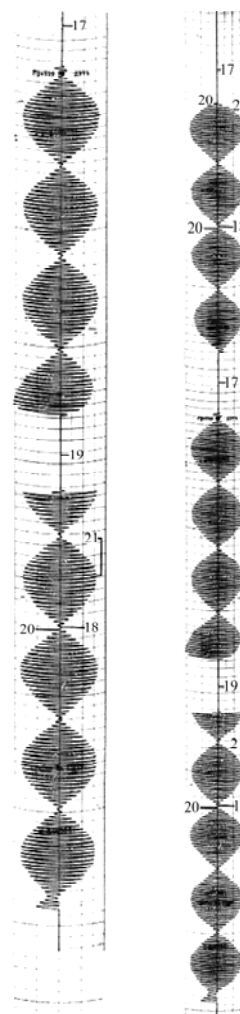


Рис. 2. Микрофотография пьезомодуляционного сигнала в кристалле $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$.

На рис. 2 приведены непосредственные результаты записи пьезомодуляционного сигнала тензодатчиков на основе кристалла $TlIn_{0,98}Pr_{0,02}Se_2$. Контрольные записи проводились при различных величинах амплитуды синусоидальной деформации ($\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$) и скорости перемещения светового зонда. На рисунке ограничили представлением результатов записи,

полученной при скорости перемещения светового зонда $v_c = 6,2$ мм/сек и постоянной амплитуде синусоидальной деформации $\varepsilon_0 = 3 \cdot 10^{-4}$, завершаемой с частотой ($\omega = 2\pi f$) $f = 80$ Гц. Развертка ленты самописца составляла 125 мм/сек. Нулевой сигнал на записи (участки «17», «18», «19» на рис. 2) соответствует «невозбужденным лучом» состояниям датчиков. Появление тензосигнала свидетельствует о начале частичного освещения очередного датчика на пути подвижного светового зонда (участки «20»). В момент, когда световой зонд полностью охватывает приемное окно датчика, амплитуда деформационного сигнала достигает своего максимального значения (участки «21»). Дальнейшим перемещением зонда освещенный участок датчика, следовательно, и тензосигнал от него постепенно уменьшаются, и в момент, когда световой зонд находится между двумя соседними датчиками, поступающий в канал записи тензосигнал равняется нулю (участки «18»). Дальнейшее перемещение зонда соответствует началу «постепенного» освещения (и росту тензосигнала) очередного тензодатчика и так далее.

Проведенная таким образом запись дает исчерпывающую информацию о распределении, величине и частоте деформации (или же других тензометрических величин, например механической нагрузки, усилий, давления и т. д.). Величина исследуемой деформации при этом определяется по максимальной амплитуде записанного на ленте переменного сигнала согласно тарифовочному графику для датчиков. В данном случае для всех точек размещения датчиков амплитуда относительной деформации примерно одинакова – порядка $(2,5 \div 3) \cdot 10^{-4}$. Частота испытываемой датчиками динамической деформации устанавливается по развертке самописца. Каждый 1 мм по длине ленты при этом соответствовал времени 0,008 сек. Следовательно, частота записываемых деформаций (от различных резонаторов) составляла $f \approx 79 \div 82$ Гц. Ширина активной базы датчиков, согласно записям на рис. 2, порядка 1 мм, а расстояние между центральными осями наиболее близко расположенных параллельных соседних датчиков – порядка 2 мм, за исключением четвертых и пятых (сверху вниз на рис. 2) датчиков, для которых данное расстояние составляет ≈ 4 мм. Время облучения каждого датчика от начала до конца возбуждения при измерении оказалось порядка 0,32 секунды. При увеличении темпа многоточечной записи, то есть при повышении скорости перемещения зонда v_c , число полных периодов колебаний между двумя соседними «нулевыми» сигналами (участками «18» на рис. 2), соответствующее числу совершаемых упругих колебаний подложки за период

облучения датчика, заметно уменьшается. Однако в любом случае темп многоточечной записи можно повышать лишь до тех пор, пока циклический период измеряемой динамической деформации не превысит время облучения датчика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин Ю.М., Криворотов Н.П., Попов А.И., Усольцев А.А., Хан А.В. Надежность арсенид–галлиевых полупроводниковых приборов. *Электронная промышленность*. 1993, (9), 74–78.
2. *Современные линейные интегральные микросхемы и их применение*. Под ред. М.В. Гальперина. М.: Энергия, 1980. 272 с.
3. Серьезнов А.Н., Скотников А.А., Уткин С.Н., Бабарькин А.Б. Многоточечный тензометрический прибор для измерения деформаций. *Авиационная промышленность*. 1973, (12), 82–84.
4. Гутников В.С. *Интегральная электроника в измерительных устройствах*. Л.: Энергия, 1980. 247 с.
5. *Аналоговые интегральные микросхемы*. Справочник. Под ред. Б.П. Кудряшова и др. М.: Радио и связь, 1981. 160 с.
6. Гальперин М.В. Параметры аналоговых ключевых схем на полевых транзисторах. *Приборы и системы управления*. 1975, (2), 27–29.
7. Годжаев Э.М., Оруджев К.Д. Система $TlInSe_2 - TlPrSe_2$. *Изв. АН СССР. Неорганические материалы*. 1981, **17**(2), 233–235.
8. Годжаев Э.М., Аллаяргов Э.А., Рустамов В.Д. и др. Синтез выращивания монокристаллов и исследования акустофотовольтанического эффекта в $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ и $TlIn_{1-x}Pr_xTe_2$. *Изв. РАН. Неорганические материалы*. 2004, **40**(9), 1131–1135.
9. Годжаев Э.М., Джафарова Г.С. Фотоэлектрические свойства кристаллов $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ ($0 \leq x \leq 0,04$). *Изв. РАН. Неорганические материалы*. 2009, **45**(1), 1234–1236.
10. Годжаев Э.М., Назаров А.М., Аллаяргов Э.А. Фотоэлектрические свойства кристаллов $TlIn_{0,98}Pr_{0,02}Se_2$ и резисторов на их основе. *Изв. РАН. Неорганические материалы*. 2011, **47**(12), 1438–1441.

Поступила 18.01.12
После доработки 04.11.13

Summary

The given work presents the devices on the base of new $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ ($0 \leq x \leq 0.04$) crystals developed to be used in high temperature multipoint tensometry, which allows for raising productivity and reliability of results of measurements at multipoint tensometry.

Keywords: multipoint tensometry, photoelectric properties, directional strain, acoustic probe.