

**ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА. СТРОИТЕЛЬСТВО, ТЕХНИКА**

*Джаманкызов Н.К.*

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ФОТОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ**

*N.K. Jamankyrov*

**ASSESSMENT OF PHOTOTHERMAL RECORDS PARAMETERS IN VARIOUS ENVIRONMENTS**

УДК: 681.883.753

*В настоящей работе приводятся некоторые качественные оценки в зависимости процессов записи голограмм от температурных режимов для случаев линейной и нелинейной среды на примере  $As_2Se_3$  и  $Tl_2Te_3$  соответственно.*

*Some qualitative assessments of holograms records dependence on temperature regimes for linear and non-linear media are given in present work on the example of  $As_2Se_3$  and  $Tl_2Te_3$  respectively.*

1. Известно что, некоторые халькогенидные стеклообразные полупроводники - ХСП (в том числе  $As_2Se_3$ ) изменяют свои оптические параметры в результате теплового действия лазерного излучения [1]. Установлено, что закон взаимозаместимости для этих сред выполняется не при всех условиях, в частности, он не выполняется при больших интенсивностях. Так, при равных энергиях и укорочении времени импульса, чувствительность начинает расти, т.е. при той же энергии обнаруживается большее изменение оптических показателей. Если в области длительностей облучения, при которых выполняется закон взаимозаместимости, изменения оптических параметров определялось непосредственным действием кванта излучения, а необходимая энергия составляла 1-10 Дж/см<sup>2</sup>, то с укорочением лазерного импульса наблюдалось следующее: при длительности воздействия  $\tau_0 \sim 10^{-3}$  с необходимая энергия, приводящая к достаточному потемнению, составляла  $\sim 1$  Дж/см<sup>2</sup>, а при  $\tau_0 \sim 3 \cdot 10^{-8}$  с примерно для такого же потемнения достаточно было 0,1 Дж/см<sup>2</sup>. Конечно, для различных ХСП

возможны различные значения упомянутых величин, но тенденция увеличения чувствительности с укорочением действия сохраняется и для ряда других материалов ХСП. Если при малых интенсивностях происходили достаточно хорошо изученные фотоструктурные изменения, сопровождающиеся наведённым изменением оптических параметров, то с увеличением интенсивности воздействующего лазерного излучения добавлялось действия теплового нагрева. Из сравнения действия непрерывного излучения He-Ne лазера с  $\lambda = 0,63$  мкм и рубинового лазера  $\lambda = 0,69$  мкм в случае свободной генерации видно, что в слоях  $As_2Se_3$  можно достичь одинакового потемнения при меньших энергиях в случае импульсной записи. Однако, поскольку излучения 0,69 и 0,63 мкм находятся на разных высотах края собственного поглощения, то, чтобы выровнять условия, действие импульсного лазера сравнивалось с непрерывным излучением лампы накаливания  $\lambda = 0,7$  мкм той же энергии. Полученное потемнение от действия лампы было примерно на порядок меньше, чем от импульсного воздействия. Из сказанного можно сделать вывод, что импульсное воздействие сопровождается фотоструктурными изменениями, изменения оптических показателей за счет которых усиливается в результате дополнительно наведенного температурного поля. Дополнительные изменения оптических показателей, вызванные наведенным температурным полем, имеют другой характер, чем те которые вызваны фотоструктурными изменениями. Нагрев ХСП  $As_2Se_3$  сопровождается изменением пропускания на краю кривой поглощения, за счет температурного сужения ширины запрещенной зоны. При этом характер кривой зависимости относительного пропускания от температуры можно представить ломаной кривой с точкой

перелома при температуре  $\sim 100^\circ C$ . Как известно из литературы [2] в зоне прозрачности ( $\sim 0,9$  мкм) наблюдается изменение показателя преломления, которое для слоев  $As_2Se_3$  носит линейный характер.

Уменьшения отвода наведенного тепла с сокращением длительности воздействия подтвержден до наносекундных времен экспериментами в [3], согласно которым светочувствительность принимает максимальное значение в наносекундном диапазоне времен, а в пикосекундном интервале уменьшается. Поэтому с точки зрения быстродействия, чувствительности и плотности записи целесообразно рассматривать наносекундный диапазон длительностей воздействия. Экспериментально было показано, что при наносекундном воздействии лазерного излучения до 0.1 Дж/см<sup>2</sup> наблюдается изменение оптических параметров только во время импульса. При 0,1 Дж/см<sup>2</sup> и выше наблюдалось дополнительно к этому потемнение, которое оставалось после окончания воздействия и было вызвано смещением кривой пропускания в инфракрасную область спектра. При этом энергетический диапазон очень не велик 0,1-0,7 Дж/см<sup>2</sup>.

Учитывая выше упомянутые данные представляется что намного перспективнее использовать запись за счёт линейной связи  $n = f(T)$  в области прозрачности, т.е. с  $\lambda = 0,9$  мкм. При этом для слоя  $As_2Se_3$  в работе [2]

установлено что это такое, что  $b = \frac{dn}{dT} = 2,8740 \cdot 10^{-4} K^{-1}$ . При воздействии рубинового лазера с  $\lambda = 0,69$  мкм

коэффициент абсорбции  $a$  составляет  $1,2 \cdot 10^3 cm^{-1}$ . Для того, чтобы получить наибольшую величину фазового

набега, нужна как можно большая глубина слоя, в котором происходит изменение оптических параметров. Уменьшение интенсивности света с  $\lambda = 0,69$  мкм в  $e$  раз для слоя  $As_2Se_3$  составляет  $\sim 8$  мкм. Оценим набег фазы

при этих условиях по следующей формуле:  $Dj = \frac{2p}{l} l = \frac{2n}{T} dT$ . После подстановки величин имеем  $\Delta\varphi = 2.09 \cdot$

$10^{-2} dT$ . При нагреве полупроводника до  $150$  °С имеем  $\Delta\varphi = \pi$ . Следовательно, такой набег фазы должен давать фазовую решетку, дифракционная эффективность которой может достигать до 33%. Таким образом, для получения оптимального процесса фототермической записи в реальном времени следует воздействовать излучением, длина волны которого лежит на краю собственного поглощения полупроводника, с наносекундной длительностью, и считывать в области прозрачности при длине волны наибольшего изменения коэффициента

$$b = \frac{dn}{dT}.$$

2. Среды, обладающие как аморфной, так и кристаллической фазой состояния, обладают в этих фазах различными оптическими показателями, что, в принципе, можно использовать для записи информации. Однако, для осуществления фазового перехода нужно достичь не только определенной температуры, но и затратить определенное количество энергии скрытой теплоты перехода. В настоящее время имеется ряд хороших материалов с фазовым переходом (например, ФТИРОС), однако энергетически было бы выгоднее производить запись информации за счет изменения оптических показателей до фазового перехода.

Как уже указывалось [4], существует целый класс инконгруэнтно плавящихся перитектических поликристаллических полупроводниковых соединений, способных записывать информацию в виде голограмм. Запись осуществляется за счет исчезновения анизотропии при импульсном нагреве источником тепла, в том числе и лазерного. При этом наблюдается структура, которая по своим оптическим свойствам близка к аморфной. Чисто аморфную структуру можно получить только в том случае, если его кристаллическую фазу нагреть до общей температуры плавления  $T_{\text{ц}}$ , и мгновенно охладить. При нагреве соединения до температур ниже температуры  $T_{\text{л}}$ , но выше температуры инконгруэнтного плавления  $T_{\text{инк}}$  перитектическое соединение диссоциирует на два соседних - более устойчивых соединения, одно из которых находится в жидком состоянии. После остывания образуются два устойчивых соединения.

Под действием короткого импульса лазерного излучения определенной величины происходит нагрев перитектического соединения до температуры записи  $\Delta T = T_{\text{инк}} + \Delta T$ , где  $\Delta T = T_{\text{л}} - T_{\text{инк}}$  - глубина перитектики, определяющая диапазон температур записи. Ясно, что чем больше  $\Delta T$  тем ниже требования к лазерному источнику по энергетической стабильности. За короткое время ( $\sim 10^{-8} \cdot 10^{-12}$ с) действия лазерного излучения инконгруэнтно плавящиеся перитектические соединения не успевают образовать две стабильные фазы. Исчезает только анизотропия. Соединения в таком неравновесном состоянии замораживаются. Время возвращения в обратное поликристаллическое состояние зависит от окружающей температуры. По мере приближения окружающей температуры к температуре  $T^{\wedge}$  скорость стирания сильно увеличивается и может достигать практически больших величин. Таким образом, оказывается, что с той же длительностью импульса можно как записывать, так и стирать, но при этом можно использовать импульсы разной мощности. Варьируя величины записывающих и стирающих импульсов, а также температуру окружающей среды, можно получить быстродействующий среду для записи в реальном времени. Наиболее перспективным оказалось соединение  $Tl_2Te_3$ , чувствительность записи которого в наносекундном диапазоне составляет  $\sim 10^{-3}$  Дж/см<sup>2</sup>, в пикосекундном - 10 Дж/см<sup>2</sup> Максимальная разрешающая способность, полученная в наносекундном диапазоне длительностей импульса, составляет -2000 лин/мм. По спектральной чувствительности в видимой области спектра -галлий теллурид практически не селективен. Ввиду малой толщины ( $\sim 500$  А) слой  $Tl_2Te_3$  полупрозрачен в видимой области спектра. При действии лазерного излучения кривая спектрального пропускания света изменяется таким образом, что в точке в области  $\lambda = 1,2$  мкм ее ордината остается неизменной, в то время как в видимой области спектра наблюдается просветление, а в инфракрасной - потемнение. Измеренные на длине волны  $\lambda = 0,63$  мкм коэффициенты отражения и пропускания, до и после облучения дают возможность оценить изменение показателя преломления  $n$  и коэффициента поглощения  $\alpha$  по следующим формулам:

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left( \frac{1-R}{\tau} \right); n = \frac{1-\sqrt{R}}{1+\sqrt{R}}.$$

где,  $R$  - коэффициент отражения,  $T$  - время облучения

Таким образом скачкообразное изменение оптических параметров дает нелинейный отклик на линейное возмущение. Ввиду того, что вследствие анизотропии материал обладает очень большим контрастом, целесообразно проводить считывание в скрещенных николях. Чтобы обеспечить большую скорость записи и стирания, следует подобрать температуру окружающей среды и энергии записывающего и стирающего импульсов. Для того, чтобы снизить требования к лазерам по стабильности энергии следует искать соединения с глубокой перитектикой. Слабое изменение спектральной характеристики пропускания света делает аналогичные слою  $Tl_2Te_3$  соединения перспективным для ПВМС в большом спектральном диапазоне.

**Литература:**

1. Джаманкызов Н.К. Кинетика процессов записи голограмм на халкогенидных стеклообразных полупроводниках. Наука и новые технологии 2005г. №3, с 5-9.
2. Мазец Т.В., Павлов С.К., Шифрин Е.й. Температурная зависимость показателя преломления слоев стеклообразных  $As_2Se_3$  и  $As_2S_3$  вблизи **300К**. Письма ЖТФ т.8 вып. 17, с 1036-1038.
3. Озолс А.О. Влияние временной формы лазерного воздействия на светочувствительность аморфных полупроводниковых пленок As-Se и As-S. Извест. АН Латв. ССР, 1987г., №1(474), с 112-126.
4. Джаманкызов Н.К. Фототермическая запись и влияние тепловых режимов на процессе записи голограмм. Наука и новые технологии 2005 г. №2, с 21-26.

**Рецензент: д.т.н., академик НАН КР Жумалиев К.М.**

---