

ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ
ПРЕЛОМЛЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА КАДМИИ

П. Д. Березин, А. Ф. Денисов, И. Н. Компанец.

Р. Г. Маев, И. А. Пелуэктов, В. И. Пустовойт

УДК 621.315.592; 621.378.324

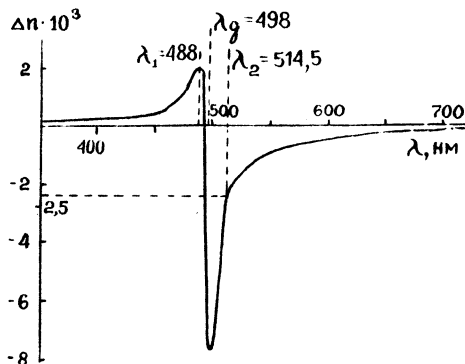
Исследовано изменение показателя преломления кристаллов сульфида кадмия, обусловленное фотогенерацией неравновесных носителей. Показано, что при незначительных энергетических затратах возможно осуществить эффективное оптическое управление показателем преломления для излучения с длиной волны, близкой к краю собственного поглощения.

Многие задачи оптической обработки информации могут быть решены с помощью голографии в реальном масштабе времени. Однако, в настоящее время практическое решение таких задач встречается со значительными трудностями, так как реверсивные среды, используемые для записи голограмм, не обладают достаточным быстродействием. Поэтому ведется интенсивный поиск новых регистрирующих сред, среди которых заслуживают внимания некоторые полупроводниковые материалы, в частности, соединения типа $A^{II}B^{VI}$.

Один из механизмов записи информации в таких полупроводниках основан на возможности управления их оптическими свойствами за счет изменения диэлектрической проницаемости (ϵ). Величина электронной части ϵ_e зависит от концентрации электронов в зоне проводимости, и как следствие этого, при фотогенерации неравновесных носителей изменяется показатель преломления кристаллов (n). В работах /1,2/ было показано, что изменения n наиболее существенны для частоты излучения, близкой к краю собственного поглощения материала. Оценки показывают, что значительное изменение оптических свойств может быть достигнуто за время не менее 10^{-8} сек.

Нами проведено экспериментальное исследование изменения показателя преломления кристаллов сульфида кадмия при фотогенерации

неравновесных электронов. Ширина запрещенной зоны полупроводника, измеренная по спектральной характеристике пропускания, составляла $E_g = 2,48$ эВ, а длина волны, соответствующая краю полосы собственного поглощения, $\lambda_g = 498$ нм. Дисперсия изменения по-



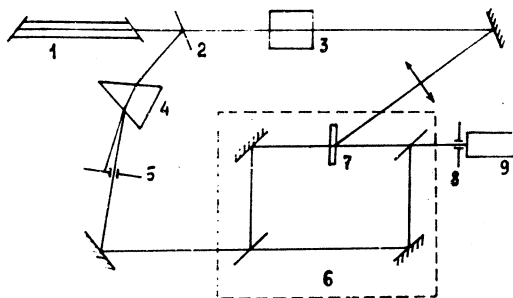
Р и с. I. Дисперсия изменения показателя преломления при концентрации неравновесных электронов $N_e = 10^{17} \text{ см}^{-3}$

казателя преломления сульфида кадмия, рассчитанная для неравновесной концентрации электронов $N_e \sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$, приведена на рис. I.

Фотовозбуждение кристаллов проводилось излучением аргонового лазера с длиной волны $\lambda_1 = 488$ нм, лежащей в области максимальной фоточувствительности. Поскольку энергия каждого кванта такого излучения не намного превышает ширину запрещенной зоны, то термическая релаксация возбужденных электронов в зоне проводимости невелика. Для регистрации изменения оптических свойств кристаллов использовалась другая линия спектра излучения аргонового лазера с $\lambda_2 = 514,5$ нм, которая находится (см. рис. I) в области значительного изменения показателя преломления и в то же время относительно слабо поглощается в кристалле.

Кристаллы сульфида кадмия были выращены методом газотранспортной реакции. Исследуемые образцы представляли собой плоскопараллельные монокристаллические пластины толщиной около 100 мкм. Кристаллы приклеивались на сапфировую подложку, укреплен-

ную на металлическом теплоотводе в криостате. Изменение показателя преломления регистрировалось при помощи интерферометра, в одно из плеч которого помещался исследуемый образец. Величина наведенной фазовой задержки проходящего через кристалл излу-



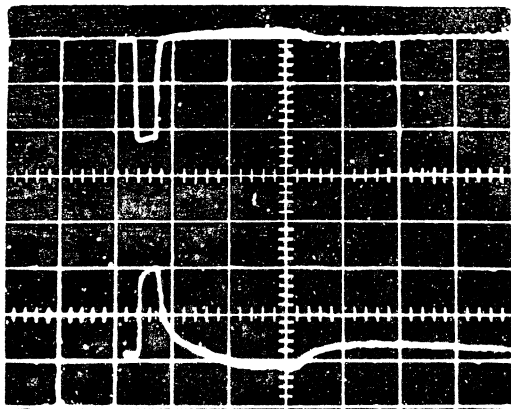
Р и с.2. Схема проведения эксперимента: 1 - лазер; 2 - светоделительная пластинка; 3 - ФМ модулятор; 4 - призма; 5, 8 - диафрагмы; 6 - интерферометр Маха-Цандера; 7 - кристаллы сульфида кадмия; 9 - фотоумножитель

чения (I) измерялась по сдвигу интерференционных полос с помощью ФЭУ. Схема проведения эксперимента показана на рис.2.

Концентрация неравновесных носителей в полупроводнике оценивалась по фототоку, протекающему через образец. При плотности мощности возбуждающего излучения $P \sim 10 \div 100$ Вт/см² за время порядка 1 мсек достигалась концентрация $N_e \sim 10^{17} \div 10^{18}$ см⁻³. Для значения $P = 40$ Вт/см² фазовая задержка света (см.рис.3) составила $L = 0,4\lambda$. Учитывая, что толщина активно работающей области кристалла $d \sim \alpha^{-1} = 10^{-3}$ см (здесь $\alpha = 10^3$ см⁻¹ - коэффициент поглощения сульфида кадмия на длине волны записи λ_1), полученной величине фазовой задержки соответствует изменение показателя преломления $\Delta n = 5 \cdot 10^{-3}$. Результаты эксперимента находятся в хорошем соответствии с теоретическими оценками (см. рис.1), которые дают для Δn значение $2,5 \cdot 10^{-3}$.

Для использования полупроводниковых кристаллов в качестве сред для динамической голографии необходимо уметь хранить наведенное изменение показателя преломления, то есть записанную ин-

формацию, и в нужный момент выборочно и оперативно стирать ее. Весьма важно отметить, что такие свойства обеспечивает, например, механизм инфракрасного (или температурного) гашения фото-



Р и с.3. Осциллограмма изменения фазы проходящего через кристалл излучения (нижний луч) под действием импульса возбуждающего излучения (верхний луч). Масштаб по горизонтали 1 дел. = 10 мсек, по вертикали (для изменения фазы) 1 дел. = $0,2\pi$.

проводимости, широко распространенный в соединениях типа $A^{IV}B^{VI}$ /3-5/. Он обусловлен наличием определенного типа примесных центров в запрещенной зоне полупроводника. Время жизни электронов в зоне проводимости (то есть время хранения информации) для оцувствленного материала может составлять десятки секунд, причем включение инфракрасной подсветки за достаточно короткие времена уменьшает концентрацию электронов проводимости до равновесной (т.е. стирает записанную информацию).

В наших экспериментах наблюдался эффект инфракрасного гашения фототока. Максимальное гашение вызывала подсветка кристаллов излучением с длиной волны $\lambda_3 = 0,8 \pm 1,1$ мкм, что указывает на перспективность использования для этих целей полупроводниковых лазеров. Однако концентрация введенных в сульфид кадмия примесей ($N_{np} \sim 10^{14} \div 10^{15}$ см⁻³) была пока еще недостаточной для эффективного управления значительной концентрацией неравновесных электронов ($N_e \sim 10^{17}$ см⁻³).

Механизм инфракрасного гашения фотопроводимости, кроме того, может обеспечить хорошее пространственное разрешение при записи информации на полупроводниковых кристаллах. Это связано с тем, что диффузия электронов из освещенной области кристалла уменьшается за счет кулоновского взаимодействия фоторождаемых электронов с дырками, локализованными на примесных уровнях. Как показывают оценки /1/, ширина размытия границы освещенной области составляет $1_e \sim 10^{-4} \div 10^{-5}$ см, что должно обеспечить разрешение порядка 1000 линий/мм.

Приведенные результаты свидетельствуют, что в кристаллах сульфида кадмия при незначительных энергетических затратах возможно осуществлять эффективное оптическое управление показателем преломления. Улучшение параметров легирования полупроводников позволит, исходя из оценок, повысить быстродействие и чувствительность этого материала. Ближайшей задачей является запись на этом материале динамической фазовой голограммы с высокой дифракционной эффективностью.

Авторн благодарят В. К. Якушина за предоставление кристаллов сульфида кадмия.

Поступила в редакцию
25 марта 1976 г.

Л и т е р а т у р а

1. Р. Г. Маев, И. А. Полуэктов, В. И. Пустовойт. ФТТ, 14, 2012 (1972).
2. Р. Г. Маев, И. А. Полуэктов, В. И. Пустовойт. ФТТ, 15, 18 (1973).
3. Р. Бьюс. Фотопроводимость твердых тел. М., ИЛ, 1962 г.
4. С. Г. Калашников, Р. Г. Маев, В. И. Пустовойт. ФТП, 5, 522 (1971).
5. V. E. Lashkarev, M. K. Sheinman. Phys. St. Sol., 11, 429 (1969).