

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭПИТАКСИЮ ХАЛЬКОГЕНИДОВ СВИНЦА И ОЛОВА

О. В. Александров, В. В. Заицев, И. Н. Зеликман,
Г. А. Каложная, К. В. Киселева, В. Г. Кожухов

УДК 620.192.3

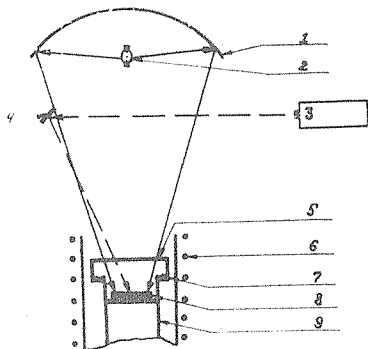
Обнаружено увеличение скорости эпитаксиального роста при облучении импульсным УФ лазерным излучением полупроводниковых соединений PbTe и $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Se}$. Установлено, что параметр решетки в области лазерного пятна существенно увеличивается.

В последнее время большое внимание уделяется вопросам воздействия импульсного лазерного излучения на твердое тело [1]. В настоящей работе приводятся данные по влиянию импульсного лазерного излучения на процессы эпитаксиального роста и структурные характеристики слоев полупроводниковых соединений PbTe и $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Se}$. Известно большое число работ по применению лазеров для отжига имплантированных слоев Si , GaAs [1]. Однако попытки непосредственно воздействовать лазером на процессы роста весьма немногочисленны, а на соединениях переменного состава, каковыми являются исследуемые материалы, эксперименты ранее не проводились.

Эпитаксиальный рост осуществлялся в условиях сублимационного переноса вещества в квазизамкнутом объеме кварцевого реактора. В качестве подложек использовались BaF_2 (111) и PbTe (100). Экспериментальная установка изображена на рис. 1. Основной особенностью установки является наличие двух типов источников излучения — непрерывного полихроматического света и импульсного (лазер). В качестве непрерывного источника использовалась лампа ДКСР-3000, излучающая свет в диапазоне длин волн $0,2 + 1,5$ мкм. Плотность мощности светового потока не превышала 100 Вт/см^2 . В работе использовались неодимовый и азотный лазе-

ры. Основные параметры: неодимовый лазер (ЛТИПЧ-5) - длины волн $\lambda_1 = 1,06$ мкм, $\lambda_2 = 0,53$ мкм, $\lambda_3 = 0,35$ мкм; длительность импульсов $\tau_p \sim 10^{-8}$ с; максимальные мощности в импульсе $W_1 \sim 10^6$ Вт, $W_2 \sim 10^5$ Вт, $W_3 \sim 10^4$ Вт; частота повторения $f = 12,5$ Гц; диаметр пятна $d = 3$ мм; азотный лазер (ЛПИ-21) - $\lambda = 0,337$ мкм; $\tau_p \sim 10^{-8}$ с; $W \sim 10^3$ Вт; $f = 25$ Гц; $d = 3$ мм. Условия эксперимента позволяли вести эпитаксию как в отсутствие светового облучения, так и при облучении лазером и (или) лампой. При этом температуры подложки и шихты, измеренные непосредственно во время опыта при осаждении одного и того же вещества, поддерживались одинаковыми вне зависимости от условий облучения. Нами были получены монокристаллические пленки, имеющие ориентацию подложки, толщиной до 200 мкм и площадью ~ 1 см².

Структурные характеристики пленок - параметр решетки a и элементы субструктуры определялись в режиме двухкристаллического спектрометра. Точность определения параметра решетки в области больших углов дифракции ($\theta > 70^\circ$) составляла $\pm 1 \cdot 10^{-3}$ Å для $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Se$ и $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ Å для $PbTe$. Приведенные в работе значения a получены путем экстраполяции зависимости $a(\theta)$ к $\theta = 90^\circ$,



Р и с. 1. 1 - эллиптический отражатель, 2 - ксеноновая лампа, 3 - лазер, 4 - зеркало, 5 - окно из оптического кварца, 6 - резистивный нагреватель, 7 - шихта, 8 - подложка, 9 - кварцевый аппарат

в этом случае ошибка составляла $\pm 2 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$. Количество дислокаций в пленках определялось по ямкам химического травления.

Основные результаты экспериментов сводятся к следующему:

1) В области лазерного пятна наблюдается увеличение скорости роста. Скорость роста $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Se}$ на BaF_2 (111) при температуре роста $T = 680^\circ\text{C}$ увеличивается от 1,3 мкм/мин без лазера до 2,2 мкм/мин при облучении лазером с $\lambda = 0,337$ мкм, а PbTe на BaF_2 (111) ($T = 800^\circ\text{C}$) изменяется от 2,8 мкм/мин до 4,5 мкм/мин при облучении лазером с $\lambda = 0,35$ мкм. Облучение с длиной волны 1,06 мкм и 0,53 мкм не приводило к заметному изменению скорости роста, поэтому в дальнейшем все результаты будут приведены для экспериментов с $\lambda = 0,337$ и 0,35 мкм.

2) Электронномикроскопическое исследование поверхности выращенных пленок при увеличении ~ 1000 показало, что их поверхность в области лазерного пятна является зеркально-гладкой без заметных деталей рельефа и фигур роста.

3) Совместное воздействие лазера и ксеноновой лампы привело к существенному увеличению параметра кристаллической решетки обоих соединений без изменения симметрии решетки (типа NaCl). Так, для автоэпитаксиального слоя PbTe (направление роста $\langle 100 \rangle$) $a = 6,4608 \text{ \AA}$, для слоев PbTe и $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Se}$ на подложках BaF_2 (направление роста $\langle 111 \rangle$) $a = 6,4683 \text{ \AA}$ и $a = 6,1055 \text{ \AA}$ соответственно. Эти величины превышают максимальные значения параметра $6,4601 \text{ \AA}$ для PbTe и $6,095 \text{ \AA}$ для $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Se}$, полученные нами для объемных монокристаллов и эпитаксиальных слоев, выращенных без воздействия электромагнитного излучения. Отметим, что последние хорошо совпадают с литературными данными /2,3/. Оценка элементов субструктуры автоэпитаксиальных пленок PbTe — размеров областей когерентности L_n и упругой деформации решетки $\epsilon_n = \Delta d/d$ (d — межплоскостное расстояние вдоль нормали к поверхности пленки) показала, что увеличение a не сопровождается ухудшением этих характеристик (в лазерном пятне $L_n = 4,8 \cdot 10^3 \text{ \AA}$ и $\epsilon_n = 1,28 \cdot 10^{-4}$; вне пятна $L_n = 4,2 \cdot 10^3 \text{ \AA}$, $\epsilon_n = 1,21 \cdot 10^{-4}$).

4) Количество дислокаций в области лазерного пятна уменьшается. При автоэпитаксии PbTe на подложке PbTe (100) с плотностью дислокаций $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ их средняя плотность в пленке,

освещаемой во время роста лампой, была $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$, а в лазерном пятне — $4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$.

5) Измерения термо-э.д.с. при температуре $T = 77 \text{ К}$ показали, что пленка в лазерном пятне имеет n -тип проводимости, а за его пределами — p -тип.

При рассмотрении перечисленных результатов существенным представляется то обстоятельство, что на процесс эпитаксии оказывает влияние УФ лазерное излучение ($\lambda = 0,337$ и $0,35 \text{ мкм}$) с очень короткой длительностью импульса ($\tau_p \sim 10^{-8} \text{ с}$) и сравнительно небольшой плотностью мощности (в наших экспериментах не более 10^5 Вт/см^2). Заметим, что формирование одного монослоя в наших условиях происходит за время $\tau \sim 10^{-2} \text{ с} \gg \tau_p$. При наносекундном лазерном отжиге I/τ плотности мощности в импульсе $\sim 10^7 + 10^8 \text{ Вт/см}^2$ на два — три порядка больше использованных нами. Эффекты, происходящие при импульсном отжиге, связывают в основном с плавлением, происходящим при поглощении излучения. Оценки показывают, что даже максимальная плотность мощности $\sim 10^5 \text{ Вт/см}^2$ в 20–30 раз меньше той, при которой должно начаться плавление поверхности пленки. Более того, изменение температуры, происходящее в момент действия лазерного импульса, не превышает 50° . При этом температура быстро (за время $\sim 10^{-6} \text{ с}$) релаксирует до начального значения, так что ее средняя величина остается постоянной в процессе эпитаксии. По-видимому, в наших экспериментах имеет место нетермическое воздействие лазерного излучения. Одним из возможных механизмов влияния на эпитаксиальный рост может быть фотодиссоциация молекул газовой фазы PbTe , Te_2 , PbSe ($E_d = 2,7 - 3 \text{ эВ}$) /4/. С этой точки зрения понятна специфика воздействия лазеров с длинами волн, квант энергии которых больше энергии диссоциации указанных молекул. При обсуждении влияния лазерного излучения на кристаллическую решетку следует учитывать, что объекты исследования являются фазами переменного состава с достаточно широкими областями гомогенности ($\sim 1 \text{ ат. \%}$). В пределах области гомогенности отклонения от стехиометрии реализуются путем образования вакансий на под решетках либо металла, либо халькогена. Ранее было показано /5,6/, что в соединениях такого типа параметр решетки возрастает с уменьшением концентрации вакансий. Поэтому наблюдавшееся

существенное увеличение параметра решетки, по-видимому, следует связать с уменьшением степени дефектности за счет уменьшения числа вакансий.

Авторы выражают благодарность Л. А. Шелепину и В. Б. Стопачинскому за полезное обсуждение работы.

Поступила в редакцию
9 сентября 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. В. Двуреченский, Г. А. Качурин и др., Импульсный отжиг полупроводниковых материалов, М., Наука, 1982 г.
2. R. F. Brebrick, *J. Phys. Chem. Sol.*, 32, 551 (1971).
3. J. C. Woolley, O. Verolo, *Mat. Res. Bull.*, 2, 445 (1968).
4. Г. М. Гуро, Г. А. Каложная и др., *ЖЭТФ*, 77, 2366 (1979).
5. Ю. И. Горина, Г. А. Каложная и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № II, 24 (1975).
6. С. А. Медведев, К. В. Киселева и др., *Изв. АН СССР, сер. Неорганические материалы*, 9, 356 (1973).