

ВЫСОКАЯ ПОДВИЖНОСТЬ В $ZnSe$, ИОННО-ЛЕГИРОВАННОМ
БОЛЬШИМИ ДОЗАМИ In^+

А. Н. Георгобани, М. Б. Копляревский, В. В. Ластовка,
Б. Н. Леонович

УДК 537.3

Впервые экспериментально показана возможность получения высокой холловской подвижности электронов в ионно-легированных индием низкоомных слоях селенида цинка.

Используемый с целью получения низкоомных ($\rho \approx 10^{-7} + 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{см}$) монокристаллов $ZnSe$ метод легирования отжигом исходных кристаллов в сплаве $Zn-Al$ неэффективен из-за того, что получающиеся значения подвижности электронов при $T = 300 \text{ K}$ значительно меньше, чем полученные в лучших нелегированных образцах значения $500 - 700 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1} / I$. Это может быть связано с генерацией в процессе приготовления большого количества компенсирующих собственных точечных дефектов и линейных дефектов упаковки, на которых идет интенсивное рассеяние носителей.

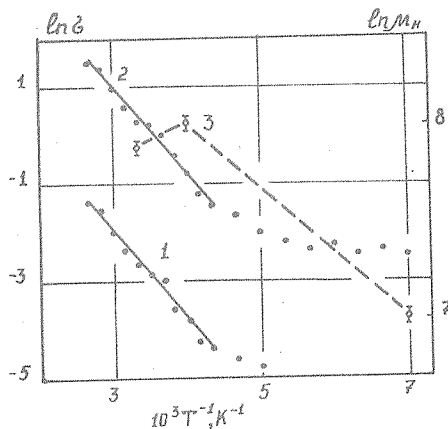
Использование для легирования ионной имплантации Al^+ /2/ так же позволило получить низкоомные слои, но подвижность получилась в интервале $1-10 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$. Это связано, по нашему мнению, с неудачным выбором условий отжига имплантированных слоев ($T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ в вакууме 10^{-6} торр). Высокая концентрация собственных дефектов, генерируемых при таких условиях отжига, приводит, вероятно, к собственно-дефектной прыжковой проводимости.

В нашей работе низкоомные кристаллы $ZnSe$ получались ионной имплантацией индия. Исходные кристаллы $ZnSe$, выращенные из расплава с сопротивлением $10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ резались на пластинки $8 \times 4 \times 0,5 \text{ мм}$, полировались, травились в бром-метанольном травителе и легировались ионами In^+ с энергией 100 кэВ , дозами $10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$

при плотности тока $j \leq 1,0 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-2}$ для всех доз.

Перед отжигом на образцы напылялась пленка индия и сверху пленка алюминия. Пленка индия играет роль "активной" защитной пленки /3/, назначение которой в ограничении самокомпенсации /4/, а пленка алюминия не позволяет пленке индия скатываться в островки при отжиге. Отжиг проводился при $T = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ в сухом азоте в течение 10 минут. Этот режим обеспечивает отжиг основных радиационных дефектов, как было показано нами ранее, для ZnS, имплантированного In^+ /5/, и ZnSe, имплантированного As^+ /6/. После отжига эти пленки травливались и оставались только точечные участки диаметром 0,6 мм, выполняющие роль высококачественных омических контактов, при измерении электропроводности и постоянной Холла.

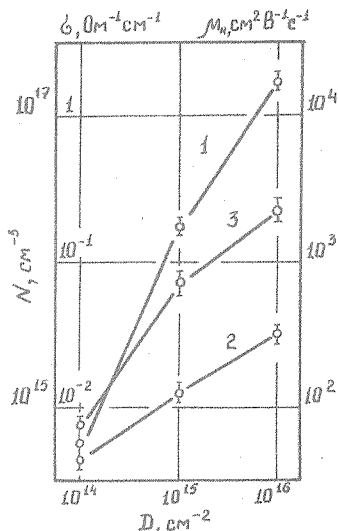
На рис. 1 приведена температурная зависимость проводимости при дозах легирования 10^{15} и 10^{16} см^{-2} . Видно, что имеется один преобладающий тип донорного центра с энергией ионизации $E_c = 0,3 \pm 0,03 \text{ эВ}$. Эффективность легирования с образованием глубоких доноров близка к 10^{-2} . Природа этого донорного центра не



Р и с. 1. Температурная зависимость электропроводности σ слоев ZnSe имплантированного In^+ , для доз 10^{15} см^{-2} (1) и 10^{16} см^{-2} (2) и значение холловской подвижности μ_H для дозы 10^{16} см^{-2} (3)

идентифицирована, но ясно, что индий входит в его структуру. Низкая эффективность ионного легирования характерна для большинства соединений класса A_2B_6 .

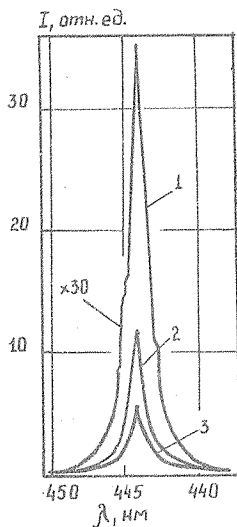
Концентрация доноров линейно возрастает с дозой легирования D в интервале $10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$, а концентрация носителей меняется пропорционально \sqrt{D} (рис. 2).



Р и с. 2. Зависимость электропроводности σ (1), концентрации N (2) и холловской подвижности μ_H носителей (3) в слоях ZnSe от дозы имплантации индия

Аномальной является зависимость подвижности от дозы легирования (рис. 2). При дозе 10^{14} см^{-2} подвижность μ_H равна $80 \text{ см}^2 \text{V}^{-1} \text{с}^{-1}$ и практически не зависит от температуры. При дозе 10^{16} см^{-2} холловская подвижность значительно выше во всем диапазоне температур и достигает значения $\mu_H = 2700 \text{ см}^2 \text{V}^{-1} \text{с}^{-1}$ при $T = 300 \text{ К}$. Зависимость подвижности μ_H от температуры при дозе 10^{16} см^{-2} (рис. 1) соответствует простой модели рассеяния при низких температурах на заряженных центрах, а при высокой температуре на оптических колебаниях. Отметим, что эти значения на-

много выше, чем дают теоретические оценки для предельного значения μ_n в ZnSe [1].



Р и с. 3. Интенсивность люминесценции, возбуждаемой лазером с $\lambda = 337,5$ нм в экситонной полосе легированных индием слоев ZnSe при дозах легирования 10^{16} см $^{-2}$ (1), 10^{15} см $^{-2}$ (2) и 10^{14} см $^{-2}$ (3)

Рост подвижности с увеличением дозы легирования хорошо коррелирует с ростом яркости люминесценции в полосе свободных экситонов. На рис. 3 приведены спектры люминесценции в экситонной области при возбуждении ее азотным лазером ($\lambda = 337,5$ нм, $T = 100$ К). Видно, что интенсивность линии свободного экситона (443 нм) резко возрастает при увеличении дозы до 10^{16} см $^{-2}$.

У контрольных неимплантированных образцов, на которые также напылялись защитные пленки индия и алюминия и которые отжигались в тех же условиях, электрические параметры не изменялись, а линии свободного экситона нет, так же как в образцах имплантированных, но не отожженных.

Совокупность полученных данных показывает, что рост подвижности может происходить из-за улучшения кристалличности леги-

рованного слоя, находящегося в контакте с пленкой индия, например, за счет процессов твердофазной перекристаллизации, интенсивность которой тем выше, чем выше концентрация первичных радиационных нарушений.

Поступила в редакцию
26 января 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. M. Aven, B. Segall, Phys. Rev., 130, 81 (1963).
2. B. K. Shin, Y. S. Park, D. C. Lock, Appl. Phys. Lett., 24, 435 (1974).
3. А. Н. Георгобани, М. Б. Котляревский, Ю. Н. Генералов, Краткие сообщения по физике ФИАН № 3, 17 (1972).
4. А. Н. Георгобани, М. Б. Котляревский, В. Н. Михаленко, Краткие сообщения по физике ФИАН № 4, 14 (1977).
5. А. Н. Георгобани, М. Б. Котляревский, О. С. Лудзиш, Краткие сообщения по физике ФИАН № 12, 7 (1979).
6. А. Н. Георгобани, М. Б. Котляревский и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 6, 30 (1977).