3-дәріс
Эпитаксияның перспективті түрлерінің технологиялық мүмкіндіктері

Шоманов Рүстем

Наноматериалдар және нанотехнологиялар

Дәріс жоспары

- Молекулалы-сәулелік эпитаксияны алу
- Металлорганикалық байланыстардан газфазалы эпитаксия

Молекулалы-сәулелік эпитаксияны алу

- Молекулалы-сәулелік эпитаксия өз кезегінде жұқа қабықшалардың вакуумдық тозаңдандыру процессінің аса жетілдірілген технологиясы болып саналады. Оның вакуумды тозаңдандыру әдісінен айырмашылығы технологиялық процесстің өте жоғары деңгейдегі бақылауымен ерекшеленеді. МСЭ әдісінде жұқа монокристаллды қабаттар қыздырылған монокристаллды подложкаға шоғырланады. Төсеніштің жоғары температурасы атомдардың төсеніш бетімен миграциялануына себеп болады, сол себептен де атомдар белгілі ретпен қатаң орналасады.

Молекулярлы-сәулелі эпитаксияны алу

Осымен монокристалл төсеніштегі пайда болғалы жатқан қабықшаның кристаллының өсу бағытын шамалаймыз. Эпитаксия процессінің табысты болуы қабықша мен төсеніш тор параметрлерінің қатынасына және дұрыс таңдалған төсеніш температурасы мен атқылайтын сәуле интенсивтілігіне тәуелді.

Монокристаллды қабықша төсеніш үстінде өсіп жатып төсенішпен химиялық байланысқа түспейтін болса, бұл құбылыс – *гетероэпитаксия* деп аталады.

Молекулярлы-сәулелі эпитаксияны алу

Ал егер қабықша мен төсеніштің химиялық құрамы жағынан бір-біріне айырмашылығы болмаса немесе айтарлықтай аз болса, процесс – *гомоэпитаксия* немесе *автоэпитаксия* деп аталады.

Арнайы төсеніш қабырғасымен химиялық байланысқа түсе отырып орын алатын эпитаксия – *хемоэпитаксия* деп атаймыз.

Қабықша мен төсеніш арасындағы бөліп тұратын шекара болса төсеніштің құрылымын алады бірақ құрамы жағынан төсеніш пен қабықша материалынан тұратын болады.

Молекулярлы-сәулелі эпитаксияны алу

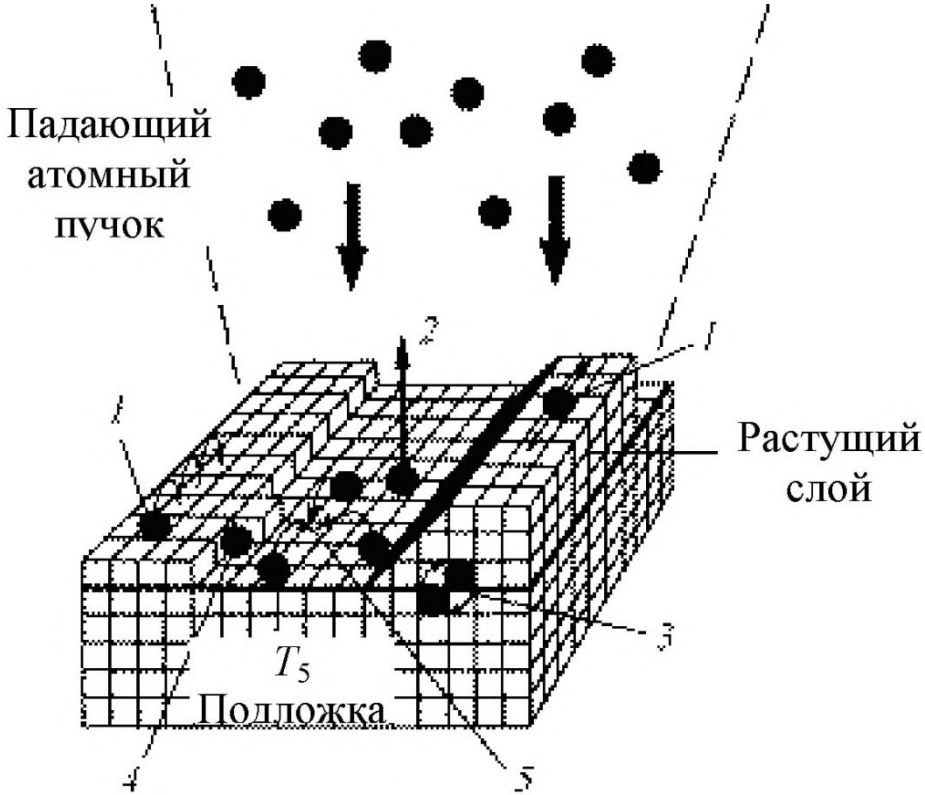
Өзге технологиялармен салыстырғанда МСЭ әдісі кристалл өсуінің баяулығымен және қолданылатын температураның төмендігімен ерекшеленеді. Бұл әдістің артықшылықтарына әр түрлі текті материал атомдарының бірінен соң бірін отырғызудың жылдамдығы. Яғни процесс барысында бір атом шоқтары таусылған соң дереу екінші тозаңдандырғыш атом шоқтарын іске қосуға болады.

Молекулярлы-сәулелі эпитаксияны алу

Ең маңызды деген эпитаксиялы өсу қолданылатын атомдық процесстер:

- Төсеніш бетіндегі құраушы атом мен молекулалар адсорбциясы;
- Атомдардың беттік миграциясы және адсорбіленген молекулалар диссоциациясы;
- Бұрын алынған эпитаксиялы қабаттарға немесе төсеніштің кристалл торына атомдардың орнығу процессі;
- Кристалл торға енгізілмеген атом және молекулаларды термиялық десорбциялау.

Бұл процесстер 3.1 суретте схемалық түрде көрсетілген.



3.1-сурет. МСЭ процессімен жұқа қабықша алу барысында орын алатын беттік процесстер сызбасы. 1- беттік диффузия; 2 - десорбция; 3 – алмасу диффузиясы; 4 – торға бірігу; 5 – беттік агрегация;

Молекулярлы-сәулелі эпитаксияны алу

Газдық фазадан жаңа материалды төсенішке конденсациялау атомдардың төсеніш бетімен соқтығысу жылдамдықтарымен анықталады:

$$r = \frac{p}{\sqrt{2\pi MkT}}.$$

бұл жерде p - бу қысымы; M - бөлшектердің молекулалық салмағы; k - Больцман тұрақтысы; T - температура.

Молекулярлы-сәулелі эпитаксияны алу

МСЭ арқылы орын алатын беттік процесстер бірнеше кезеңдерден тұрады. Атап айтқанда, олардың әрқайсысы жеке сипатталуы мүмкін. Мысалы, десорбция процессінің жылдамдығы:

$$\nu \infty \exp\left(\frac{E_d}{kT_S}\right),$$

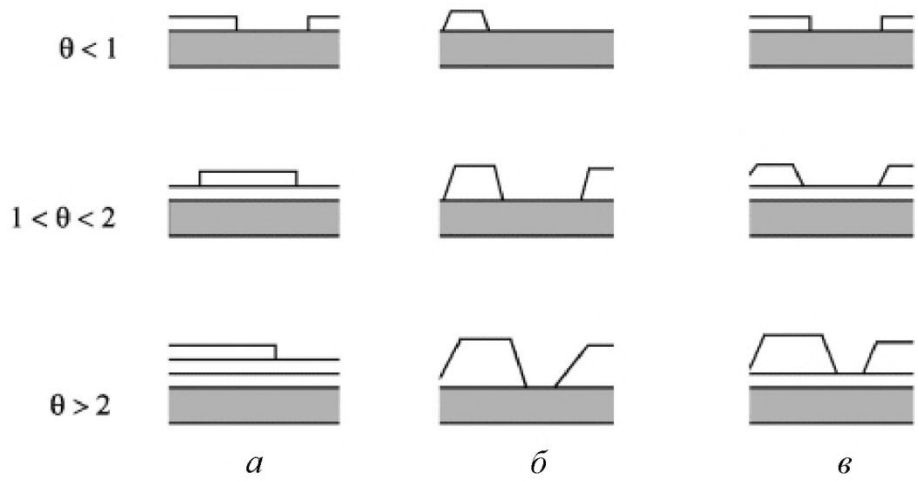
Молекулярлы-сәулелі эпитаксияны алу

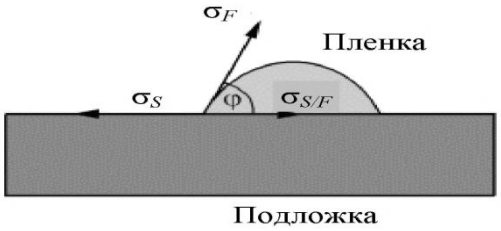
Негізінен эпитаксиялды қабықшаны өсірудің үш негізгі түрін қарастырады:

1. Қабаттық өсу (layer-by-layer growth). Өсудің бұл түрінде қабықшаның әрбір жаңа қабаты алдыңғы қабат толық қалыптасып біткен соң ғана отырғызылады. Бұл өсу процессін Франк ван дер Мерв процессі деп те атайды. Ол 3.2а суретте көрсетілген.

2. Аралдық өсу процессі немесе Вольмер – Вебер өсуі (island growth, Vollmer – Weber, VW). Бұл механизм қабаттық өсу процессінің қарама-қарсы нұсқасы болып саналады.

3. Бұл екі өсу процесстерінің арасында Странски – Крастанова өсу процессі жатады. Бұл процессте бірінші қабат төсеніш бетін толық жауып тұрады да, оның үстіне қабықшаның үшөлшемді аралы өседі.





3.2 сурет. *Өсу процесстерінің түрлері*. а – қабаттық өсу; б – аралдық өсу; в – Странски – Крастанов өсуі.

Металлорганикалық қосылыстардан Газфазалық эпитаксия

Өзінің жұқа қабықшалар алу процессінде химиялық қосылыстардың жүруінің қарапайымдылығымен ерекшеленетін газфазалы эпитаксия процессі жартылай өткізгіш материалдар қабықшаларын дайындауда кеңінен қолданылады. Алайда бұл процесс тек жартылай өткізгіш материалдар емес металлдар мен диэлектриктер қабықшалаырн даярлауда да қолданылады. Газфазалы эпитаксия процессінде өндірістік кремний өндірісінде кремнийдің сутек атмосферасында қалыпқа келу процессі көп қолданысқа ие болды.

$$SiCl_4 + 2H_2 = Si + 4HCl.$$

Бәрімізге мәлім GaAs қабықшасы алынған химиялық реакция былай жазылады:

$$(CH_3)_3Ga + AsH_3 \xrightarrow{H_2,\,700^0C} GaAs + 3CH_4$$

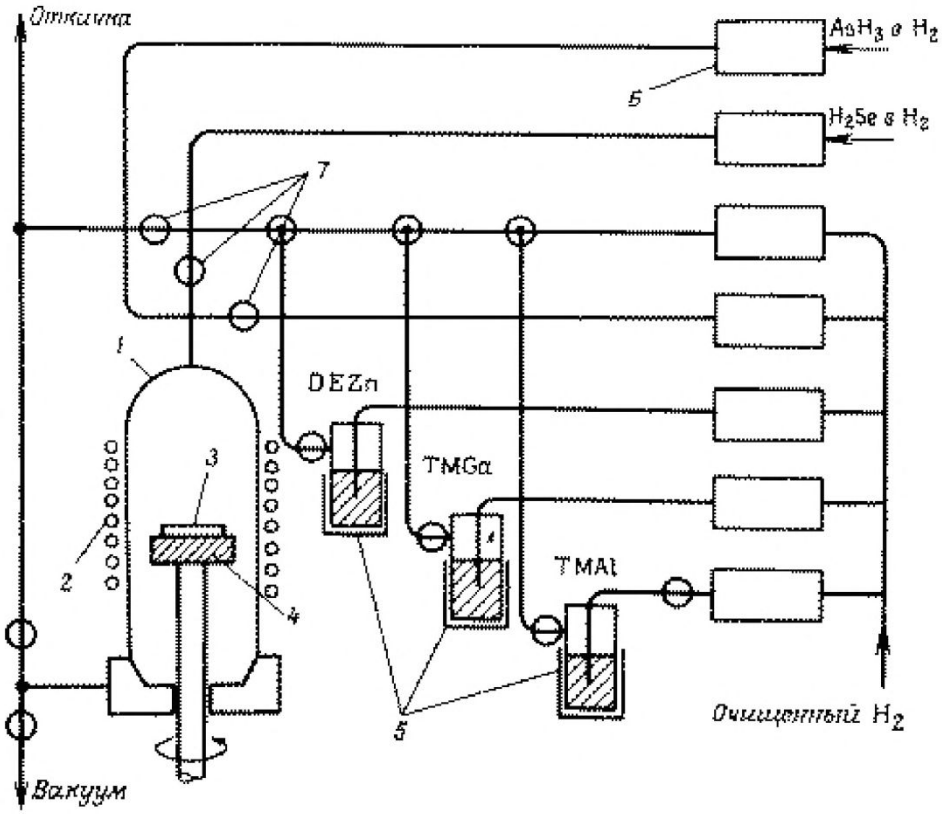


Рис. 3.4. Схематическое изображение реактора для РГФ МОС: *1* – кварцевый реактор; *2* – высокочастотный нагреватель; *3* – подложка; *4* – графитовый держатель; *5* – источники металлоорганических соединений; *6* – датчики потока; *7* – вентили

Назар аударғандарыңызға РАХМЕТ