

வெண்ணொளிக்குக் கிடைத்த விருது

- டாக்டர் ஆர். வித்யா*

2014ஆம் ஆண்டிற்கான இயற்பியல் நோபல் பரிசு இசாமு அகாசாகி, ஹிரோஷி அமானோ, மற்றும் ஷீஜி நகாமுரா ஆகிய மூன்று ஜப்பானிய-அமெரிக்க விஞ்ஞானிகளுக்கு வழங்கப் படுகிறது. சுற்றுச் சூழலை பாதிக்காத, ஆற்றல்மிகு விளக்குகளான நீல ஒளி உமிழ் இருமுனையங்களை (Light-Emitting Diodes - எல்.ஈ.டிக்கள்) கண்டுபிடித்ததற்காக இம்மூவரும் உலகின் மிக உயரிய அறிவியல் விருதான நோபல் பரிசு பெறுகின்றனர்.

19-ஆம் நூற்றாண்டில் தாமஸ் ஆல்வா எடிசன் கண்டுபிடித்த மின் குமிழிகள் நமது இரவுகளுக்கும், மேற்குலக நாடுகளின் இருள் நிறைந்த பனிக்காலத்திற்கும் ஒளியேற்றின. 20-ஆம் நூற்றாண்டில் குழல் விளக்குகள் எங்கெங்கும் ஒளி வெள்ளத்தைப் பாய்ச்சின. ஆனால் இவற்றின் ஒளிஉமிழ் திறன் முறையே 16, 70 லூமன் / வாட் என்ற அளவிலேயே இருந்தது. 21-ஆம் நூற்றாண்டின் மிக முக்கிய கண்டுபிடிப்பான குறைமின் கடத்திகளில் நீல நிற ஒளி உமிழ் வைத்ததன் மூலம், 300 லூமன்/வாட் ஒளிஉமிழ் திறன் கொண்ட ஒளி உமிழ் இரு முனையங்களை (எல்.ஈ.டிக்கள்) உருவாக்கியதற்காகவே இந்த ஜப்பானிய ஆய்வர்கள் நோபல் பரிசு பெறுகின்றனர். எல்.ஈ.டிக்கள் ஆற்றல் மிக்கதாயும், நீடித்து உழைப்பதாயும் உள்ளன. மின் குமிழிகளிலும், குழல் விளக்கு

* நார்வேயின் ஒஸ்லோ பல்கலைக்கழகத்தில் விஞ்ஞானியாக பல்லாண்டுகளாக பணியாற்றிய பின் தற்போது சென்னை அண்ணா பல்கலைக்கழகத்தில் துணைப் பேராசிரியராக இணைந்துள்ளார்.

களிலும் மின்னாற்றல் பெரிதும் வெப்பமேற்றவே பயன்படுகிறது. மின்னிறையோ, வாயுக்களோ சூடாவதால் அதிக ஆற்றல் பெறும் மூலக்கூறுகள் அதிர்வடையும் போது ஒளியை வெளியிடுகின்றன. ஆனால் எல்.ஈ.டிக்களில் மின்னாற்றல் நேரடியாக ஒளியாக மாற்றப்படுவதால் 300 லூமன் வாட் அளவிற்கு ஒளி உமிழப் படுகிறது. எல்.ஈ.டிக்கள் மின்குமிழிகளை விட 100 மடங்கு நீடித்தும் உழைக்கின்றன.

நீல ஒளி உமிழ் எல்.ஈ.டிக்கள் எவ்வாறு அதி ஒளிஉமிழ் திறனுடைய வெண்ணொளியளிக்க முடியும் எனத் தோன்றலாம். வெண்மை என்பது ஒரு தனித்த நிறமல்ல பல நிறங்களின் கலவையே வெண்ணிறம் என நாம் அறிவோம். சிவப்பு, பச்சை, நீலம் ஆகிய மூன்று முதன்மை நிறங்கள் வெண்ணிறத்திற்கு முக்கிய தேவையாகும். மூன்று முதன்மை நிற எல்.ஈ.டிக்களை ஒரு சேர ஒளிர வைக்கும்போது அக்கூட்டாளி நம் கண்ணை வந்தடையும் போது அது வெண்ணிறமாகத் தெரியும். அல்லது, நீல நிற ஒளியை ஒரு ஒளிஉமிழ் சேர்மத்தின் (Phosphor) மீது பாய்ச்சுவதால் சிவப்பு மற்றும் பச்சை நிறங்கள் வெளியேறி நீலத்தோடு சேர்ந்து வெண்ணொளி கிடைக்கும். சிவப்பு மற்றும் பச்சை நிற உமிழ் எல்.ஈ.டிக்கள் 1950களிலேயே தயாரிக்கப்பட்டாலும், நீல நிறம் ஆய்வர்களை மேலும் 30 ஆண்டுகளுக்கு அலைக்கழித்தது.

செல்பேசிகள், கணினிகள் முதலான மின்னணு சாதனங் களைத் தந்த குவாண்டம் தத்துவமே எல்.ஈ.டிக்களின் இயக்கத்திற்கும் மூல காரணமாகும். ஒரு எல்.ஈ.டி தன்னுள் குறைமின் கடத்திகளை (semiconductors) பல அடுக்குகளாக கொண்டுள்ளது. சாதாரண நிலையில் மின்கடத்தாது இருக்கும் ஒரு பொருள், ஆற்றலைப் பெற்று சாதாரண நிலையில் மின் கடத்தும் பொருளாக மாறும் தன்மை கொண்டிருந்தால் அது குறைமின் கடத்தி எனப்படும். மின்னணு சாதனங்களில் பெரிதும் பயன்படுத்தப்படும் சிலிக்கான் இதற்குத் தகுந்த உதாரணமாகும். ஒவ்வொரு அணுவிலும் நேர்மின் திறன் கொண்ட அணுக்கருவை எதிர்மின் திறனுடைய எலக்ட்ரான்கள் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களில் சுற்றி வருகின்றன

என்பது நாமறிந்ததே. எண்ணி லடங்கா அணுக்கள் இணைந்து ஒரு சேர்மம் உருவாகும் போது, இத்தகைய ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒன்றோடொன்று இணைந்தும், இயைந்தும் ஆற்றல் பட்டைகளாகின்றன (energy bands). ஆற்றல் மட்டங்கள் எலக்ட்ரான்களால் நிறைவுறும் போது அச்சேர்மம் மின்கடத்தாத் தன்மையை பெறுகிறது. பாதி நிறைந்த ஆற்றல் கற்றைகள் கொண்ட சேர்மம் மின்கடத்தியாக உள்ளது. ஒரு பொருளின் ஆற்றல் தேவையே (energy gap) அதன் மின்கடத்தும் திறனை தீர்மானிக்கிறது. குவாண்டம் விதிகளின் மூலம் ஒரு பொருளின் மின்ஆற்றல் தேவையைக் கணிக்கலாம். ஆற்றல் தேவையில்லா சேர்மங்கள் கடத்திகள் எனவும், ஆற்றல் தேவை கொண்டவை 0.5-3.8ev குறைமின் கடத்திகள் எனவும் அதற்கு மேற்பட்டவை மின்கடத்தாப் பொருட்கள் எனவும் வரையறுக்கப் படுகின்றன.

குறைமின் கடத்திகளுக்கு வெப்பம் அல்லது மின் ஆற்றல் அளிக்கப்படும் போது, எலக்ட்ரான்கள் நிறை ஆற்றல் கற்றைகளிலிருந்து (valence band) கடத்தி ஆற்றல் கற்றைகளுக்கு (conduction band) இடம் பெயரும். எதிர்மின் தன்மை கொண்ட ஒரு எலக்ட்ரான் தன்னிறைவு ஆற்றல் கற்றையிலிருந்து கடத்தும் ஆற்றல் கற்றைக்கு செல்லும் போது ஒரு மெய்நிகர் வெற்றிடத்தை ஏற்படுத்துகிறது. இவ்வெற்றிடத்தில் மற்றொரு எலக்ட்ரான் வந்து அமர முடிவதால் அவ்வெற்றிடம் நேர்மின் தன்மை கொண்டதாக கருதப்படுகிறது. இதனை வெற்று எலக்ட்ரான் (hole) என அழைக்கலாம். ஒரு பெண் திருமணமாகி அவளது பிறந்த வீட்டை விட்டு செல்லும் போது ஏற்படும் வெற்றிடம் போன்றதே இந்த வெற்று எலக்ட்ரானாகும். எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை பெரும்பான்மை கொண்ட குறைமின் கடத்திகள் மிகுஎதிர்மின் குறைகடத்திகள் (n-type semiconductor) என்றும், வெற்று எலக்ட்ரான்கள் அதிகம் கொண்டவை மிகுநேர்மின் குறைகடத்திகள் (p-type semiconductor) என்றும் பகுக்கப்படுகின்றன.

ஒரு குறைமின் கடத்தியில் தகுந்த எலக்ட்ரான் எண்ணிக்கை கொண்ட தனிமத்தின் அணுக்களை உள் நுழைப்பதின் (doping)

மூலம் அதனை மிகுஎதிர்மின் தன்மை கொண்டதாகவோ அல்லது மிகுநேர்மின் தன்மை கொண்டதாகவோ மாற்றலாம். உதாரணமாக, பாஸ்பரஸ் அணுக்களை சிலிக்கானில் சேர்க்கும் போது, மிகுஎதிர்மின் தன்மை கொண்டதாகவும், அதே சிலிக்கானில் அலுமினியம் அல்லது காலியம் சேர்க்கும் போது மிகுநேர்மின் தன்மை கொண்டதாகவும் மாறுகிறது. எதிரெதிர் மின் தன்மையுடைய மிகுமின் குறைகடத்திகள், ஒன்றொடொன்று இணையும் போது இருமின் முனையம் (diode) ஏற்படுகிறது. 1950களில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட தனிம பிற்சேர்க்கையால் உருவான இத்தகைய இருமின் முனையங்களே தற்போதைய மின்னணு சாதனங்களின் பிறப்பிற்கு வித்திட்டது.

ஒளிஉமிழ் இருமின் முனையங்களில் நீலநிறம் ஒளிரவைத்ததற்காகவே மூன்று ஜப்பானிய அறிஞர்களும் இந்த ஆண்டிற்கான நோபல் பரிசு பெறுகின்றனர். 1950களில் இருந்தே ஒளிஉமிழ் இருமின் முனையங்கள் பல்வேறு ஆய்வகங்களில் உருவாக்கப்பட்டு வந்தாலும், அவை அப்ச்சிவப்பு முதல் பச்சை நிறம் வரையுள்ள அலைவரிசையுடனே இருந்தன. நீல ஒளிஉமிழ் இருமின் முனையங்கள் கண்டுபிடிக்க மேலும் 30 ஆண்டுகள் ஆனது. இதற்கென தரம் உயர்ந்த படிகங்களை உருவாக்கும் முறையும், 1980களில் மேம்படுத்தப்பட்டன. சிங்க் செலினைட், சிலிக்கான் கார்பைட் போன்ற குறைகடத்திகள் நீல ஒளிக்காக பரிசீலிக்கப்பட்டாலும், காலியம் நைட்ரைட் என்ற 3.4 eV ஆற்றல் தேவை கொண்ட குறைகடத்தியே பயனளித்தது. புற ஊதாக் கதிர்களை உமிழக்கூடிய காலியம் நைட்ரைடை, நீல ஒளி வெளியிட வைத்ததே ஒரு நீண்ட சரித்திரமாகும். முதலில் காலியம் நைட்ரைடை தூளாகத்தான் தயாரிக்க முடிந்தது. அதில் இருமுனையங்களை ஏற்படுத்துவது இயலாத காரியம். எனவே புகழ் பெற்ற பிலிப்ஸ் ஆய்வகத்தினர், உள்பட பலரும் காலியம் நைட்ரைட் தயாரிப்பைக் கைவிட்டு, காலியம் பாஸ்பைடை தயாரிக்க முயற்சித்தனர்.

ஆனாலும் ஒரு சில ஆய்வர்கள் விடாமுயற்சியுடன் காலியம் நைட்ரைட் படிகத்தை (crystal) உருவாக்க முனைந்தனர். ஒரு

வழியாக 1960களில் ஹைட்ரைட் வாயுநிலை திசையமைவு படிக்கமாக்கல் (Hydride Vapour Epitaxy) முறையில் காலியம் ஹைட்ரைட் படிகங்கள் அமெரிக்கா, ஜப்பான், ஐரோப்பாவிலுள்ள ஆய்வகங்களில் உருவாக்கப்பட்டன. ஆனால் அவற்றில் பல குறைகளிலிருந்தன. மேற்பரப்பு கடினத்தன்மை, உலோக மாசுபாடு, ஹைட்ரஜனால் மிகுநேர்மின் தன்மை இழப்பு/மட்டுப்படுத்தல் ஆகியவற்றை கட்டுப்படுத்த இயலவில்லை. உண்மையில் ஹைட்ரஜனின் பங்கு நன்மையா, தீமையா என்பதே விளங்கவில்லை. மேலும், உலோக மாசுபாடுகள் (metal impurities), படிகக் குறைபாடுகளோடு (crystal defects) இணைந்து, தொகுப்பு குறைபாடுகளை (defect complexes) உருவாக்கின.

1970களில் புதிய படிக்கமாக்கும் முறைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அவற்றுள் குறிப்பிடத்தக்கவை மூலக்கூறுக்கற்றை திசையமைவு படிக்கமாக்கல் (Molecular Beam Epitaxy), உலோக/கரிம வாயுநிலை திசையமைவு படிக்கமாக்கல் (Metal-Organic Vapour Phase Epitaxy). இசாமு அகாசாகி 1974-இல் மட்கஷிட்டா ஆய்வு நிறுவனத்தில் முறையில் காலியம் ஹைட்ரைட் படிகங்களை தயாரிக்க முனைந்தார். பின்னர் 1981இல் நகாயோ பல்கலைக்கழகத்தில் பேராசிரியராக பணியமர்ந்த பின்னும் இம்முயற்சியைக் கைவிடவில்லை. 1986இல் ஹிரோஷி அமனோவடன் இணைந்து சிறந்த ஒளியியல் பண்புகள் கொண்ட, உயர்தர காலியம் ஹைட்ரைட் படிகங்களை MOVPE முறையில் உருவாக்கினார். இவர்களின் படிக்க உருவாக்கும் முறை ஒரு நாவலைப் போன்ற சுவாரசியம் நிறைந்தது.

முதலில் அலுமினியம் ஆக்சைடன் ஒரு வகையான நீலக்கல் (Sapphire - Al_2O_3) படிக அடித்தளத்தின் மீது $500^\circ C$ யில் அலுமினியம் ஹைட்ரைட் பன்படிகங்களை (polycrystalline) 30 நானோ மீட்டர் தடிமன் கொண்ட மெல்லிய அடுக்குகளாக படிக வைத்தனர். அதனை $1000^\circ C$ யில் சூடாக்கும் போது சிறு சிறு படிக இழையமைவுகள் (crystalline textures) உருவாகின. அதன் மீது தேவையான திசையமைவு (orientation) கொண்ட காலியம்

நைட்ரைட் படிகங்களை உருவாக்க ஏதுவாக இருந்தது. முதலில் ஒரு சில இடப்பெயர்வு குறைகள் (dislocation defects) இருந்தாலும், சில மைக்ரோ மீட்டர் தடிமனுக்கு மேல் அவையும் மறைந்து உயர்தர பரப்புடைய காலியம் நைட்ரைட் படிகங்கள் முதன்முறையாக கிடைத்தன. இதுவே பின்னாளில் பல்லடுக்குகள் கொண்ட ஒளிஉமிழ் இருமுனையங்களின் வருகைக்கு வழிகோலின. ஷீஜி நகாமுராவும் பின்பு இதே போன்ற முறையை பின்பற்றி அலுமினியம் நைட்ரைட் அடித்தளமின்றி மெல்லடுக்கு (thin films) காலியம் நைட்ரைட் படிகங்களை குறைந்த வெப்பநிலையிலேயே உருவாக்கினார்.

காலியம் நைட்ரைட் ஒரு முனையங்கள்

ஒரு குறைகடத்தி இருமுனையமாகச் செயல்பட அதில் மிகுஎதிர்மின் மற்றும் மிகுநேர்மின் தன்மை கொண்ட முனைகள் உருவாக தகுந்த தனிம உள்நுழைவு (elemental doping) சாத்தியமாக வேண்டும். காலியம் நைட்ரைட் இயல்பாகவே மிகுஎதிர்மின் தன்மையுடனிருந்தது. அதனுடன் அலுமினியம் அல்லது இண்டியம் சேர்க்கும் போது சீரான மிகுஎதிர்மின் தன்மை எளிதாக உண்டானது. ஆனால் மிகுநேர்மின் தன்மை உண்டாக்க ஆய்வர்கள் மேலும் பல சவால்களை எதிர்கொள்ள வேண்டியிருந்தது.

1980களின் இறுதியில் அகாசாகியும் அமானோவும் முக்கிய நிகழ்வொன்றைக் கண்டறிந்தனர். சிங்க் உள்நுழைக்கப்பட்ட காலியம் நைட்ரைட்டை வரிவருடு எலக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியினூடாகப் (Scanning Electron Microscope) பார்க்கும் போது அதிக ஒளி உமிழப்பட்டது. அது போல மக்னீசியம் உள்நுழைக்கப்பட்ட காலியம் நைட்ரைட் மீது குறைந்த ஆற்றலுடைய எலக்ட்ரான் கதிர்கள் பாய்ச்சப்பட்டதும், அதுவும் அதிக ஒளியை உமிழ்ந்தது. இவை மிகுநேர்மின் தன்மைக்கு சான்றாக அமைந்தது.

எலக்ட்ரான் கதிர்வீச்சினால் விளைந்த அதிக ஒளிக்கு நகாமுரா குழுவினர் விளக்கமளித்தனர். வெற்று எலக்ட்ரான்களை

அளிக்கும் சிங்க்கும், மக்னீசியமும் உள்நுழைக்கப்பட்டவுடன் ஹைட்ரஜன் அவற்றுடன் இணைந்து மாசுத் தொகுதிகளை (impurity complexes) உருவாக்குவதால் வெற்று எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை கணிசமாகக் குறைந்து விடுகிறது. எனவே மிகு நேர்மின்தன்மை ஏற்பட முடிவதில்லை. அதே நேரத்தில் எலக்ட்ரான் கதிர்வீச்சு இம்மாசுத் தொகுதிகளை பிரித்து விடுவதால் சிங்க்கும், மக்னீசியமும் வெற்று எலக்ட்ரான்களை தாராளமாக அளிக்க முடிகிறது. இவை மிகுநேர்மின் தன்மையை ஏற்படுத்தி அதிக ஒளி உமிழ்க் காரணமாகின்றன. இதன் துணை விளைவாக எளிய வகை வெப்பமேற்றுவதன் மூலம் மக்னீசியத்தைக் கொண்டு வெற்று எலக்ட்ரான்களை அளிக்க வைக்க முடியுமென்று நகாமுரா நிரூபித்தார். இதுவே பின்னாளில் மலிவு விலையில், அதிக எண்ணிக்கை எல்.ஈ.டிக்களை தயாரிக்கும் சாதகமான திருப்பத்திற்குக் காரணமாகும்.

அகாசாகி மற்றும் நகாமுரா குழுவினர் 1990களில் திறனுயர்ந்த நீல எல்.ஈ.டிக்களை உருவாக்குவதில் மற்றொரு முக்கிய அடியெடுத்து வைத்தனர். உலோகக்கலவைகளான AlGa_N, InGa_N ஆகியவற்றில் மிகுநேர்மின் தன்மையை ஏற்படுத்தியதோடு மட்டுமில்லாமல் அவற்றை பன்மைச் சந்தியாக (hetero-junctions) வடிவமைத்தனர். பன்மைச் சந்திகளிலும் துணுக்கக் கிணறுகளிலும் (quantum well) அதிதிறன் ஒளி உமிழ்ப்படுவதற்கு அகச்சிவப்பு எல்.ஈ.டிக்களும் லேசர் இருமுனையங்களும் சான்றாகின. இவற்றில் எலக்ட்ரான்களும், வெற்று எல்ட்ரான்கும் மிகச்சிறிய பருமனுக்குள் உள்ளேற்றப்படுவதால் அவை அதிக சேதமின்றி ஒன்றொடொன்று மறுசேர்ந்து (recombine) அதி திறன் ஒளியை உமிழ்கின்றன. அகாசாகி குழுவினர் AlGa_N பன்மைச் சந்திகளை உருவாக்குவதில் தீவிரமடைந்த போது நகாமுரா குழுவினர் InGa_N பன்மைச் சந்திகளிலும் துணுக்கக் கிணறுகளிலும் ஆய்வை மேற்கொண்டனர். 1994இல் நகாமுரா குழுவினர் InGa_N, AlGa_N இரட்டை பன்மைச் சந்திகளில் பெற்ற 2.7% துணுக்கத்திறன் (Quantum Efficiency) ஒரு முக்கிய மைல்கல்லாகும். அதன் பின் இரு குழுவினரும், நீல

எல்.ஈ.டிக்களில் திறனுயர்த்தல், பன்மைத்தன்மை, பயன்பாடு ஆகியவற்றில் கவனம் செலுத்தலாயின். காலியம் நைட்ரைடைக் கொண்ட நீல லேசர் 1995-96களில் இரு குழுவினராலும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

இன்று காலியம் நைட்ரைடைக் கொண்ட எல்.ஈ.டிக்கள் வீடுகள், அலுவலகங்களில் ஒளியேற்ற மட்டுமல்லாமல், பல்வேறு பயன்பாடுகளைக் கொண்டுள்ளன. தட்டைத்திரை தொலைக் காட்சிப் பெட்டிகள், தொடுதிரை கணினிகள், அலைபேசிகள் ஆகியவை இவற்றுள் சில. நீல நிறம் மற்றும் புற ஊதா நிறம் உமிழும் காலியம் நைட்ரைட் இருமுனைய லேசர்கள் Blu-ray disc எனப்படும் அதி உயர் நினைவகத் தகடுகளில் (High-definition Memory discs) பயன்படுகின்றன. எதிர்காலத்தில் காலியம் நைட்ரைட் எல்.ஈ.டிக்கள் குடிநீரை சுத்திகரிக்கவும், பாக்கீரியா வைரஸ் போன்ற தீமை பயக்கும் நுண்ணுயிரிகளை அழிக்கவும் பயன்படும். மேலும், மின் சேவையற்ற தனித்திருக்கும் சிற்றூர்களில் சூரிய ஒளி மின்னிற்பத்தியால் எரியும் மின்விளக்குகளில் இத்தகு எல்.ஈ.டிக்கள் பொருத்தப்படுவதால் கணிசமாக மின்சாரத்தை சேமிக்கலாம்.

References:

1. The Nobel Prize in Physics 2014 released by The Royal Swedish Academy of Sciences.
2. Jeyapandian Kottalam, A Handbook for translation scientific and technical literature in Tamil.